

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství

**ZHODNOCENÍ ODVODŇOVÁNÍ KALŮ POMOCÍ
ŠNEKOLISU**
(Evaluation of sludge dewatering using a screw press)

Autor:

Ing. Martina Leřová

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Miroslav Kyncl

Ostrava 2021

Poděkování

V první řadě bych chtěla poděkovat vedoucímu své diplomové práce panu prof. Dr. Ing. Miroslavu Kynclovi za cenné rady a pomoc při zpracování diplomové práce. Neméně důležité poděkování bych chtěla věnovat paní Ing. Barboře Musálkové za poskytnutí důležitých informací a dat z čistírny a také panu prof. Ing. Jiřímu Vidláři CSc. za odbornou konzultaci. Nemohu však opomenout poděkovat také své rodině za psychickou podporu při psaní této práce.

ABSTRAKT

Teoretická část této diplomové práce se věnuje obecnému postupu při čištění odpadních vod s následnou produkcí kalu. Je zde stručně popsán postup čištění odpadní vody od mechanické části čistírny až po biologickou. Dále jsou zde uvedeny jednotlivé procesy při nakládání s kalem, jeho vznik, úprava, zahuštění, stabilizace a odvodnění. V poslední kapitole této části jsou popsány různé možnosti odvodňování kalů. Zde je i podrobněji popsán šnekolis, který je hlavní součástí této práce.

V následující praktické části je popsána čistící linka odpadních vod Brušperk. Jsou zde popsána zařízení vyskytující se na čistírně, přes která postupně prochází odpadní voda až k závěrnému odvodnění a vzniku kalu o potřebné sušině. Je zde popsána také dekantační odstředivka, která byla nahrazena novým odvodňovacím šnekolisem. V této části jsou dále uvedeny hodnoty získané z odvodnění kalů pomocí odstředivky i šnekolisu a navzájem je porovnávána účinnost odvodnění kalu. Z výsledků je provedeno zhodnocení nového odvodňovacího zařízení. V závěru je uvedeno shrnutí všech dosažených výsledů.

KLÍČOVÁ SLOVA

čistírna odpadních vod, odpadní voda, kal, stabilizace, zahušťování, odvodňování, dekantační odstředivka, šnekolis, ukazatele znečištění

ABSTRACT

The theoretical part of this diploma thesis deals with the general procedure in wastewater treatment with subsequent sludge production. The procedure of wastewater treatment from the mechanical part of the treatment plant to the biological one is briefly described here. Furthermore, the individual processes in sludge management, its formation, treatment, thickening, stabilization and dewatering are presented. The last chapter of this section describes various options for sludge dewatering. Here is a scree press described in more detail, which is the main part of this work.

The following practical part describes the Brušperk wastewater treatment line. The equipment occurring at the treatment plant is described here, through which the wastewater gradually passes until the final dewatering and the formation of sludge with the required dry matter. A decanting centrifuge has also been described here, which has been replaced by a new dewatering a scree press. In this part, the values obtained from sludge dewatering using a centrifuge and a screw press are presented and the efficiency of sludge dewatering is compared with each other. The results are used to evaluate the new drainage equipment. A summary of all achieved results is given in the end.

KEYWORDS

wastewater treatment plant, wastewater, waste sludge, stabilization, thickening, dewatering, decanting centrifuge, screw press, pollution indicators

Obsah

1	ÚVOD A CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	1
2	ZPRACOVÁNÍ A ZNEŠKODŇOVÁNÍ KALŮ Z BIOLOGICKÉHO ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	2
2.1	Technologie čistíren odpadních vod	3
2.1.1	Hrubé předčištění.....	3
2.1.2	Mechanický stupeň čištění.....	3
2.1.3	Biologický stupeň čištění.....	5
2.2	Zásady biologických čistírenských procesů.....	8
2.2.1	Hladiny redoxního potenciálu	8
2.2.2	Biologická rozložitelnost.....	9
2.2.3	Růst a množení mikroorganismů	10
2.2.4	Aktivační proces	11
2.2.5	Srovnání aerobního a anaerobního procesu.....	13
2.3	Aerobní způsoby biologického čištění OV	14
2.3.1	Základní způsoby kultivace aktivovaného kalu.....	15
2.3.2	Mechanismus aerobního biologického čištění.....	17
2.4	Anaerobní způsoby biologického čištění OV - stabilizace kalů	18
2.4.1	Kultivace a mikrobiologie anaerobního procesu	18
2.4.2	Mechanismus anaerobního biologického čištění	20
2.5	Charakteristika čistírenských kalů	22
2.6	Zahušťování kalů	24
2.7	Stabilizace kalů.....	25
3	METODY A ZPŮSOBY ODVODŇOVÁNÍ KALŮ	29
3.1	Přírozené způsoby odvodňování.....	30
3.1.1	Kalové pole.....	30
3.1.2	Kalová laguna	31
3.2	Mechanické způsoby odvodňování.....	32
3.2.1	Odstředivka.....	32
3.2.2	Vakuový bubnový filtr.....	33
3.2.3	Kalolis.....	34
3.2.4	Sítopásový lis.....	36
3.2.5	Odvodňovací vaky	37
3.2.6	Šnekolis	39

3.3	Metody hygienizace kalů	43
3.3.1	Chemické metody	43
3.3.2	Fyzikální metody	44
3.3.3	Biotechnologické metody	46
4	ODVODŇOVÁNÍ KALŮ NA ČOV BRUŠPERK	47
4.1	Lapák štěrku, vstupní čerpací stanice a dešťová zdrž.....	50
4.2	Biologické čištění OV	52
4.2.1	Skladba biologické linky čištění.....	54
4.2.2	Dosazovací nádrž – vertikální	56
4.3	Kalové hospodářství.....	57
4.3.1	Mechanické odvodnění kalu	58
4.3.2	Dekantační odstředivka typ ALDEC	63
4.3.3	Odvodňovací šnekolis typ CONTIPRESS SP2-4020.....	65
4.3.4	Znečištění odpadních vod na ČOV Brušperk	69
4.3.5	Situační plán ČOV	71
5	ZHODNOCENÍ ODVODŇOVÁNÍ KALŮ POMOCÍ ŠNEKOLISU.....	74
5.1	Účinnost odvodňování kalů	76
5.1.1	Spotřeba elektrické energie.....	83
6	DISKUZE A ZÁVĚR	84
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ	91
	SEZNAM GRAFŮ	93
	SEZNAM TABULEK.....	94
	SEZNAM POUŽITÝCH ROVNIC	96
	SEZNAM PŘÍLOH.....	97
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	98

1 ÚVOD A CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

S nárůstem kapacity znečištěných vod přicházejících na čistírnu odpadních vod, dochází k produkci postupně zvyšujícího se množství kalů, které vznikají jako vedlejší produkt čištění odpadních vod. Likvidace těchto kalů je hrozícím problémem nejen z hlediska množství, ale i obsahu mnohdy nebezpečných látek a toxických těžkých kovů. Produkci ani vzniku kalů nelze žádným způsobem zabránit, lze jen vhodným výběrem technologie zmenšit jeho objemové množství a tím snížit riziko ohrožení životního prostředí a lidského zdraví. Odvodňování kalů z čistíren odpadních vod je efektivní přístup ke snížení objemu kalů pro následnou likvidaci. Odvodňování a manipulace s kalem jsou technologicky a ekonomicky náročné operace a často zahrnují více než polovinu celkových nákladů na čištění odpadních vod. Primární kal je zpravidla více odvodnitelný než kal aktivovaný, jelikož biologický kal má vysokou schopnost zadržovat vodu a obsah vlhkosti je obvykle větší než 98%. V mnoha případech bývá aktivovaný kal nejprve smíchán s primárním kalem, zahuštěn a následně odvodněn pomocí šnekového lisu na finální obsah sušiny 30 – 40%. Kaly se odstraňují dvěma hlavními cestami. První cestou je obnova živin aplikací kalů na zemědělskou půdu a druhou možností je jeho spalování se ziskem energie. Ať už se jedná o ukládání kalů na zemědělské půdy nebo jeho spalování, je v obou případech výhodné zvýšit obsah sušiny kalu. Vzhledem k limitům mechanického odvodňování lze získat přibližně 20 % obsahu sušiny v kalu, jelikož nedokáže odstranit vodu vázanou na koloidní pevné látky v kalové matici, a proto se musí ještě dále tepelně sušit, což vyžaduje vysokou spotřebu energie. Účinným odvodňováním kalů se sníží množství objemu kalu vyžadujícího likvidaci, zvýší se obsah sušiny v kalu a tím se sníží náklady na energie potřebnou k jeho tepelnému sušení.

Cílem této studie je zhodnocení výkonu nově zabudované stacionárně kapacitně výkonnější kontejnerové linky pro odvodňování kalů. Posouzení efektivity odvodňování pomocí šnekového lisu jsem provedla na základě dat získaných ze spolupráce s čistírnou odpadních vod nacházející se v Brušperku. Nové zařízení bylo na ČOV Brušperk nainstalováno z důvodu nedostačujícího výkonu zařízení předchozího. Původní zařízení bude využito na jiné čistírně.

2 ZPRACOVÁNÍ A ZNEŠKODŇOVÁNÍ KALŮ Z BIOLOGICKÉHO ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Čištěním odpadních vod vzniká vedlejší produkt (odpad), který nazýváme kalem. Jedná se o vodní suspenzi, která je více či méně koncentrovaná a právě obsah vody určuje její objemové množství. Důležitý význam zde má povaha suspendovaných částic, zejména jejich afinita k vodě. Mohou to být částice hydrofilní s pevnou vazbou k vodě anebo částice hydrofobní, u nichž se přitažlivost k molekulám vody neprojevuje. Voda vázaná k pevné části kalu má v celkovém obsahu suspenze dvojí charakter. V první řadě se jedná o prostorovou vodu, kterou lze oddělit prostou sedimentací. V druhém případě je voda pevně vázaná na částice kalu a k jejímu oddělení je již potřeba vynaložit větší množství energie. Postupy separace vody, s nízkou potřebou energie, docílíme obsahu sušiny v kalu okolo 10 %, v této fázi má kal stále tekutou konzistenci. Dalším odvodněním kalu dosáhne obsah sušiny v kalu v rozmezí 20 – 50 % a jeho konzistence se podobá zemině, což usnadňuje jeho transport a manipulaci. Pokud kal projde ještě termickým zpracováním, může dosáhnout obsah sušiny až 90%. [1, 2]

Odpadní kaly vznikají z primárního usazování přiváděné odpadní vody jako primární kal nebo z aerobního biologického čištění jako přebytečný aktivovaný kal, které souhrnně nazýváme kalem surovým, a ten následně vstupuje do anaerobní stabilizace, jejímž výsledkem je stabilizovaný kal, kalová voda a bioplyn. Surový kal má obsah sušiny okolo 2 – 3 % při 65 % organických látek a je dávkován do vyhnívacích nádrží, tedy fermentorů, kde probíhá jeho stabilizace bez přístupu vzduchu. Tyto nádrže bývají nejčastěji železobetonové a jejich promíchávání se provádí pneumaticky bioplynem nebo hydraulicky. Obsah organických látek v kalu je 70 %, což se dá vyjádřit z hmotnostního hlediska tak, že 100 kg surového kalu obsahuje 70 kg organických látek a 30 kg anorganického znečištění. Po anaerobní stabilizaci se polovina organických látek svým rozkladem přemění na bioplyn a zbyde tedy 35 kg organického a 30 kg původního anorganického znečištění. Můžeme tedy říct, že obsah organických látek ve stabilizovaném kalu se sníží na 53 %. Než však vznikne samotný kal, prochází znečištěná voda několika fázemi čistírenských procesů probíhajících na čistírně odpadních vod. V následujících kapitolách jsou uvedeny procesy ČOV od mechanického předčištění až po biologické

čištění odpadních vod, jejichž výsledky je surový kal. Na tyto procesy bude navazovat zpracování a zneškodňování kalů vzniklých biologickým čištěním odpadních vod. [3]

2.1 Technologie čištění odpadních vod

Odpadní vody obsahují znečištění, které mění fyzikální, chemické nebo biologické vlastnosti vody. Takto znečištěná voda nelze již použít k původním účelům a pro další užívání je nutné její vyčištění. Na ČOV přicházejí splaškové a městské odpadní vody charakteristické svým složením. Mezi tyto splašky se řadí odpadní vody z domácností a sociálních zařízení závodů. K těmto OV se často připojují i průmyslové odpadní vody, zejména z pivovarského, jatečního a potravinářského odvětví. [4]

2.1.1 Hrubé předčištění

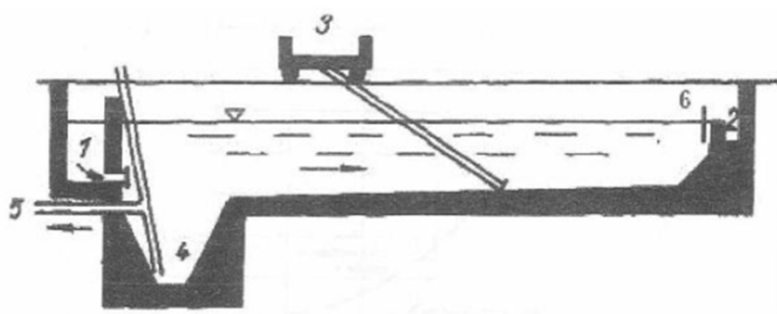
Prvním a důležitým ochranným stupněm na ČOV je hrubé předčištění, při němž dojde k odstranění velkých plovoucích nečistot z přitékající odpadní vody. Pokud by se tyto nežádoucí předměty z odpadní vody neodstranily, mohly by způsobit poruchy strojních zařízení. Ochrannou funkci čistírny plní lapáky šterku, hrubé nebo jemné česle a u větších čistíren i lapáky písku. Konstrukce záhytových zařízení zpomalí rychlost proudění přitékající vody a následně dochází k sedimentaci částic. [4, 5]

V lapácích šterku se zachytí velké a těžké předměty. Další částí hrubého předčištění jsou česle, sloužící k zachycení velkých nečistot (větve, hadry, obaly) a hrubých nerozpuštěných částic (zbytky ovoce a zeleniny, papíry, cigaretové filtry apod.). Za hrubé a jemné česle jsou zařazeny lapáky písku, které se uplatňují k odstranění suspendovaných anorganických látek jako písek, úlomky skla, jemná škvára apod. [6]

2.1.2 Mechanický stupeň čištění

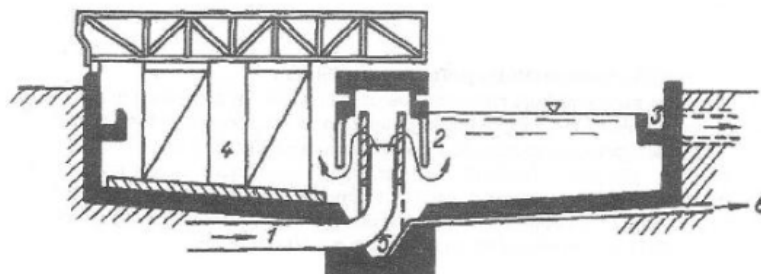
V této fázi čištění se separuje jemné nerozpuštěné znečištění obsažené v odpadní vodě. Dochází k tomu v usazovacích nádržích vlivem tíhového zrychlení. V málo koncentrovaných suspenzích nedochází ke vzájemnému ovlivňování částic a usazování probíhá prostou sedimentací s konstantní rychlostí. Zatímco v suspenzích koncentrovanějších si částice navzájem ovlivňují svou usazovací rychlost a tím se jejich pád zpomaluje, v tomto případě hovoříme o suspenzi rušení. Pokud se koncentrace

suspenze zvýší natolik, že se vytvoří rozhraní mezi kapalnou a tuhou fází, dochází k zahušťování suspenze. Usazovací nádrže se používají k zachycení rozpuštěných látek podléhajících sedimentaci a tím dochází ke snížení zatížení biologického stupně čištění. Dochází k separaci tuhé fáze od kapalné za vzniku primárního kalu, který dále pokračuje do procesu vyhnívání. Pro separaci zrnitých suspenzí se většinou využívají nádrže pravoúhlé a kruhové, u kterých je průtok horizontální. Zatímco radiální a vertikálně protékané nádrže slouží k separaci kalů vločkovitého charakteru. [5, 6]



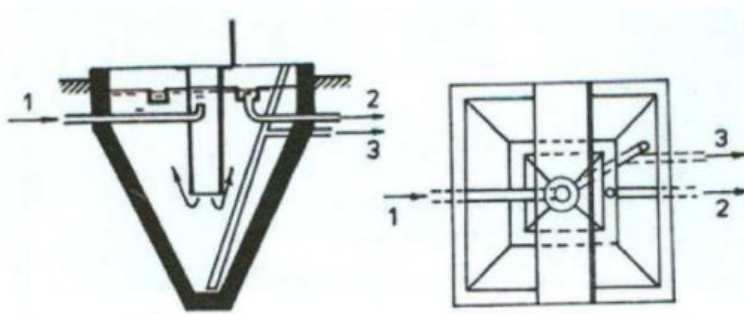
Obrázek 1: Pravoúhlá usazovací nádrž s horizontálním průtokem. [7]

1 – přítok, 2 – odtok, 3 – shrabovací zařízení, 4 – kalová jímka, 5 – odvod kalu, 6 – norná stěna



Obrázek 2: Radiální usazovací nádrž [7]

1 – přítok, 2 – uklidňovací válec, 3 – odtokový žlab, 4 – shrabovací zařízení, 5 – kalová jímka, 6 – odvod kalu

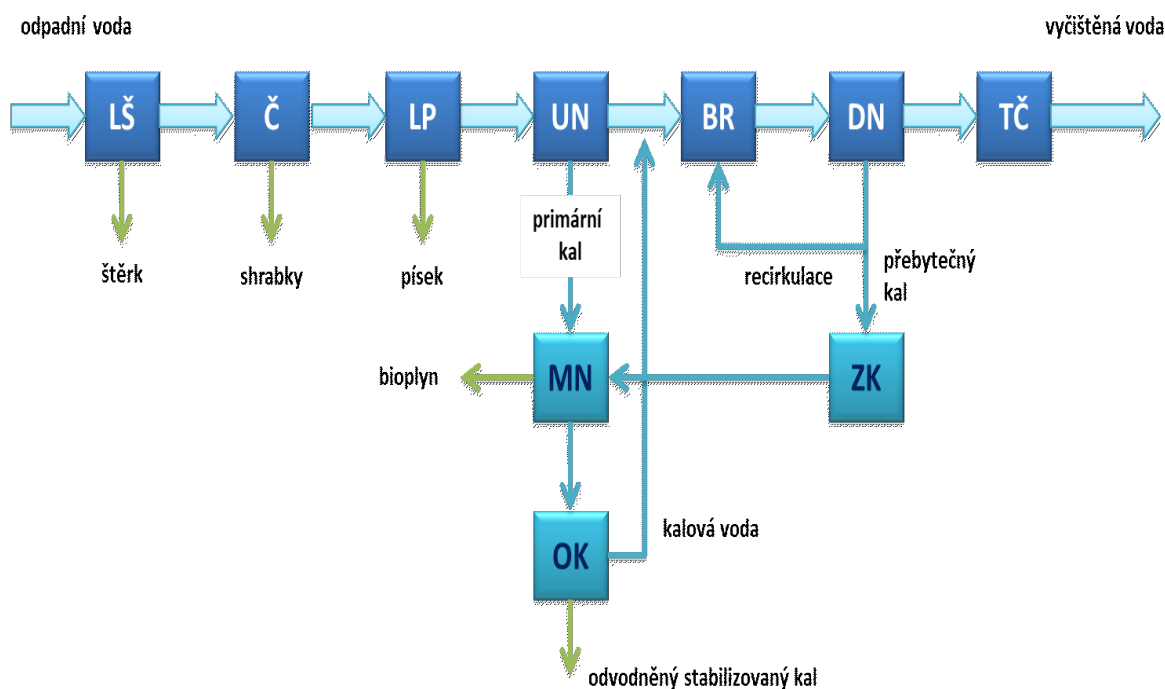


Obrázek 3: Usazovací nádrž s vertikálním průtokem. [7]

1 – přítok, 2 – odtok, 3 - kal

2.1.3 Biologický stupeň čištění

Princip této fáze čištění je založen na odstranění organického znečištění pomocí působení mikroorganismů, zejména bakterií, které nazýváme jako aktivovaný kal. Biologické čištění probíhá v bioreaktoru, kde je aktivovaný kal kultivován jako suspenze (aktivační systémy) nebo na pevném nosiči (biofilmové reaktory). Působením mikroorganismů lze z odpadní vody odstranit značné množství organického znečištění a také sloučeniny dusíku a fosforu. Smícháním vody a aktivovaného kalu vzniká směs, která teče do dosazovací nádrže a zde dochází vlivem sedimentace k oddělení vyčištěné vody od aktivovaného kalu. Část aktivovaného kalu se pro oživení směsi vrací do bioreaktoru a kal přebytečný je odváděn ke zpracování do kalového hospodářství. Přebytečný aktivovaný kal obsahuje převážně směs mikroorganismů, které narostly na rozpuštěném organickém znečištění a jejich množství je závislé na množství odstraněného znečištění v aerobním procesu čištění. [3, 8]



Obrázek 4: Blokové schéma technologické linky čistírny odpadních vod. (převzato a upraveno) [8]

LŠ – lapák štěrku, Č – česle, LP – lapák písku, UN – usazovací nádrž, BR – biologický reaktor (aktivační nádrž nebo bioreaktor), DN – dosazovací nádrž, TČ – terciální čištění, ZK – zahušťování kalu, MN – methanizační nádrž (anaerobní stabilizace kalů), OK – odvodňování anaerobně stabilizovaného kalu

Množství organického znečištění můžeme ve splaškové nebo vyčištěné vodě kontrolovat pomocí chemických rozborů. Mezi nejdůležitější ukazatele znečištění patří ukazatel chemická spotřeba kyslíku CHSK_{Cr} (koncentrace veškerého biologického znečištění) a biologická spotřeba kyslíku BSK_5 (koncentrace biologicky rozložitelného znečištění). U vyčištěné vody se ještě sleduje koncentrace nerozpuštěných látek (NL). Veškeré koncentrace jsou udávány v mg/l. [8]

2.1.3.1 Nitrifikace a denitrifikace

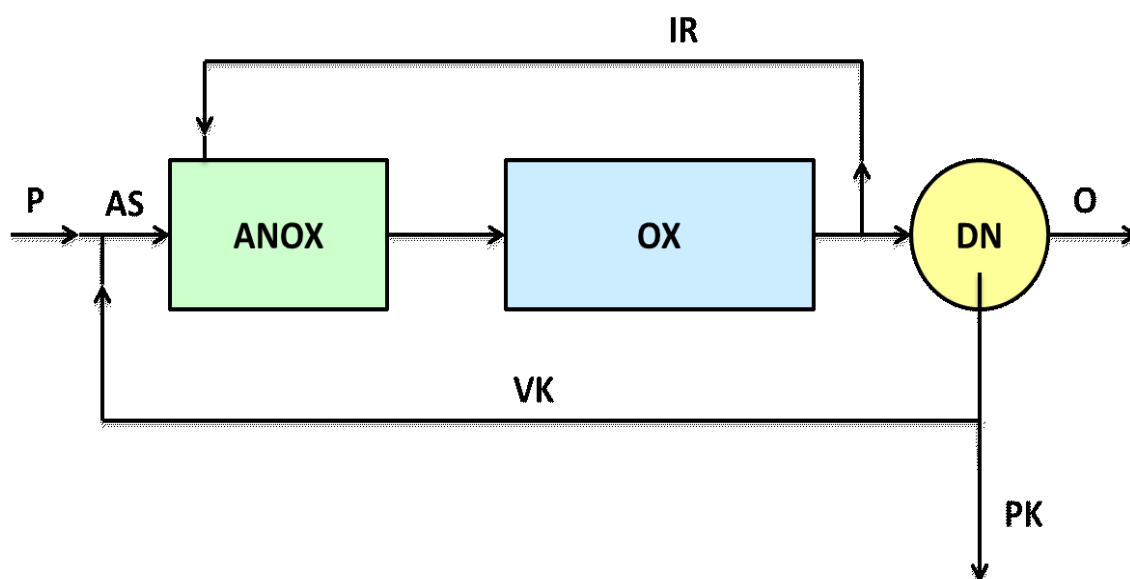
Procesem nitrifikace a denitrifikace, při níž se střídá aerobní (provzdušněná) a anoxická (bez přívodu kyslíku) zóna, dochází k odstraňování dusíku z odpadní vody. V provzdušněné zóně se využívají aerační zařízení a v zóně bez přístupu kyslíku se provzdušnění zajišťuje míchadly. [5, 9]

Nitrifikace je dvoustupňový proces, který se dělí na nitritaci a nitrataci. V prvním stupni dochází k oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany. Tento stupeň rozkladu zajišťují bakterie rodů *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, a *Nitrospira*. Ve druhém stupni mikroorganismy rodů *Nitrobacter* a *Nitrocystis* oxidují vzniklé dusitany na dusičnany. Celý proces probíhá za přístupu kyslíku a přítomné mikroorganismy využívají oxid uhličitý jako zdroj uhlíku. Nitrifikační bakterie jsou velmi citlivé na prostředí, ve kterém se vyskytují a mohou tím ovlivnit i celý průběh procesu nitrifikace. Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující rychlost a průběh nitrifikace patří koncentrace rozpuštěného kyslíku, hodnota pH, stáří a zatížení kalu, teplota a složení odpadní vody na přítoku. Koncentrace rozpuštěného kyslíku by se měla udržovat v hodnotě 2 mg.l^{-1} , hodnota pH při nitritaci 7,9 – 8,2 a pro nitrataci 7,2 – 7,6 s optimální teplotou 28 – 32 °C. Se zvyšováním stáří kalu se snižuje citlivost ke změnám teploty. Celkový pokles teploty může způsobit hromadění dusitanů v systému. [4, 6]

Opakem nitrifikace je proces denitrifikace, jelikož činností organotrofních bakterií rodů *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Chromobacterium* nebo *Denitrobacillus* dochází k redukci dusitanů a dusičnanů na plynný dusík N_2 . Mikroorganismy využívají oxidované formy dusíku vzniklé z procesu nitrifikace dvojím způsobem. Jednou z možností je nitrátová asimilace, kdy dochází k redukci dusičnanů za vzniku amoniaku, který bakterie využívají pro syntézu buněčné hmoty. Nitrátová disimilace je druhým způsobem takzvané respirace, kdy je dusičnanový a dusitanový dusík mikroorganismy využíván jako konečný

akceptor elektronu místo molekulárního kyslíku O_2 . Tím, že bakterie využívají dusík na místo kyslíku, splňují anoxické podmínky procesu. K nárůstu rychlosti denitrifikace dochází se zvýšením teploty. Denitrifikace na rozdíl od nitrifikace není až tak citlivá na změny hodnot pH, a proto může probíhat v rozmezí hodnot 6 – 9. [4, 6]

Vratný kal se smíchá s odpadní vodou bez přístupu vzduchu a to umožní jako substrát pro denitrifikaci využít organické látky obsažené v odpadní vodě. Pokud by probíhala nejdříve nitrifikace a na ni navazovala teprve denitrifikace, musel by se do anoxické zóny (proces denitrifikace) navíc přidávat organický substrát, jelikož by byl již vyčerpán v předcházejícím procesu nitrifikace. Vznikající dusičnany z procesu nitrifikace se do systému denitrifikace vracejí v podobě vratného kalu, který jak již bylo zmíněno, se smíchá s odpadní vodou z přítoku a zajistí tak přísun substrátu pro denitrifikační bakterie. Tento systém nazýváme D-N systém. [6, 9]



Obrázek 5: Schéma D-N systému. (převzato a upraveno) [6]

ANOX – anoxická zóna (denitrifikace), AS – aktivační směs, DN – dosazovací nádrž, IR – inertní recirkulace aktivační směsi, O – odtok, OX – oxická zóna (nitrifikace, P – přítok, PK- přebytečný aktivovaný kal, VK – vratný aktivovaný kal

Kromě jednoduchého řazení D-N se používají i složitější systémy s opakovaným zařazením anoxických a oxických zón. Například se může jednat proces BARDENPHO, který je čtyřstupňový nebo šestistupňový proces ALPHA. Všechny tři systémy mají anoxické i oxické zóny od sebe odděleny prostorově. [6]

2.2 Zásady biologických čistírenských procesů

Biologické čistírenské procesy jsou ovlivněny mnoha faktory. Mezi nejdůležitější patří hladiny redoxního potenciálu, biologická rozložitelnost, růst a množení mikroorganismů, aktivační proces a mnoho dalších. [10]

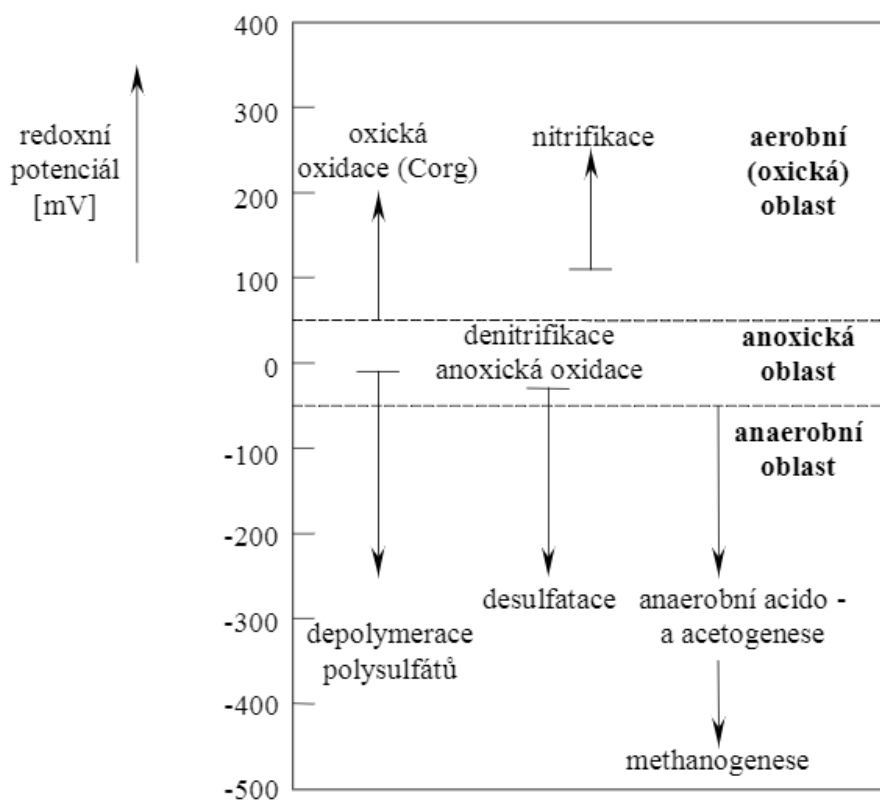
Biologické čištění odpadních vod je založeno na schopnosti mikroorganismů rozkládat organické znečištění odpadní vody. Tento proces je velmi složitý, protože je závislý na mnoha faktorech, jako je například rychlost rozkladu, obsah organického znečištění, pH, teplota, zvolený způsob čištění. Čistící schopnost mikroorganismů může být zpomalená či úplně zastavena přítomností toxických látek (v závislosti na koncentraci). V biologickém stupni se odstraní takové množství znečištění, které využijí mikroorganismy jako potravu nebo pro stavbu nových buněk. V literatuře bývá uváděn poměr $BSK_5 : N : P$ (uhlík : dusík : fosfor) na přítoku 100 : 5 : 1. Tento úměrný poměr lze vysvětlit tak, že na každých 5 mg dusíku a 1 mg fosforu je možné odstranit 100 mg uhlíku. V podstatě se jedná o zintenzivněný biologický proces probíhající v povrchových vodách s tím rozdílem, že v čistírně odpadních vod je dosaženo stejné účinnosti za podstatně kratší čas. Biologické čištění odpadních vod lze rozdělit na aerobní, anaerobní nebo je navzájem kombinovat. [11]

2.2.1 Hladiny redoxního potenciálu

Biochemické oxidačně-redukční reakce jsou považovány jako základní princip všech biologických čistírenských procesů. Důležitou roli zde hraje konečný akceptor elektronů, který následně ovlivňuje hladiny redoxních potenciálů. [12]

Na obrázku č. 2 jsou uvedeny jednotlivé hladiny redoxních potenciálů charakterizující biologické čistírenské procesy. Horní část obrázku představuje aerobní, tedy **oxickou (kyslíkatou) oblast**. Jak už název napovídá, dochází zde k oxidaci organických látek a také k nitrifikaci. Konečným akceptorem elektronů je rozpuštěný kyslík a hodnoty redoxních potenciálů dosahují nad 50 mV. Na tuto oblast navazuje **anoxická (bezokyslíkatá) zóna**, v níž probíhá anoxická oxidace a denitrifikace. V anoxické oblasti se hodnoty redoxních potenciálů pohybují v rozmezí -50 až 50 mV. V tomto roztoku se nacházejí dusičnany a dusitany bez přítomnosti rozpuštěného kyslíku. Dusičnanový a dusitanový dusík zde plní funkci konečného akceptoru elektronů. Pokud

není přítomen rozpuštěný kyslík, dusitany ani dusičnany, znamená to, že se nacházíme v poslední části obrázku, jež je nazývána **anaerobní oblastí**. Pro tuto oblast jsou charakteristické nízké hodnoty oxidačně-redukčních potenciálů pod -50 mV. V anaerobní oblasti probíhají procesy depolymerace polyfosfátů, při které dochází k biologickému odstraňování fosforu, dále jsou to desulfatace, acidogenese, acetogenese a methanogenese, kdy vlastní organická látka je konečným akceptorem elektronů. [12]



Obrázek 6: Hladiny redoxních potenciálů. [10]

2.2.2 Biologická rozložitelnost

Biologická rozložitelnost, také nazývaná biodegradace, je schopnost mikroorganismů rozkládat organické látky. Tyto látky následně mikroorganismy využívají jako zdroj uhlíku a energie pro svůj růst. Rozložitelnost organických látek se posuzuje na základě poměru biologické spotřeby kyslíku (BSK, častěji BSK₅) k teoretické spotřebě kyslíku (TSK). Hodnoty poměru BSK₅/TSK v rozmezí 0,4 – 0,2 znázorňují, že se jedná o látku velmi dobře rozložitelnou. Pokud hodnoty poměru klesnou pod 0,2, jsou látky

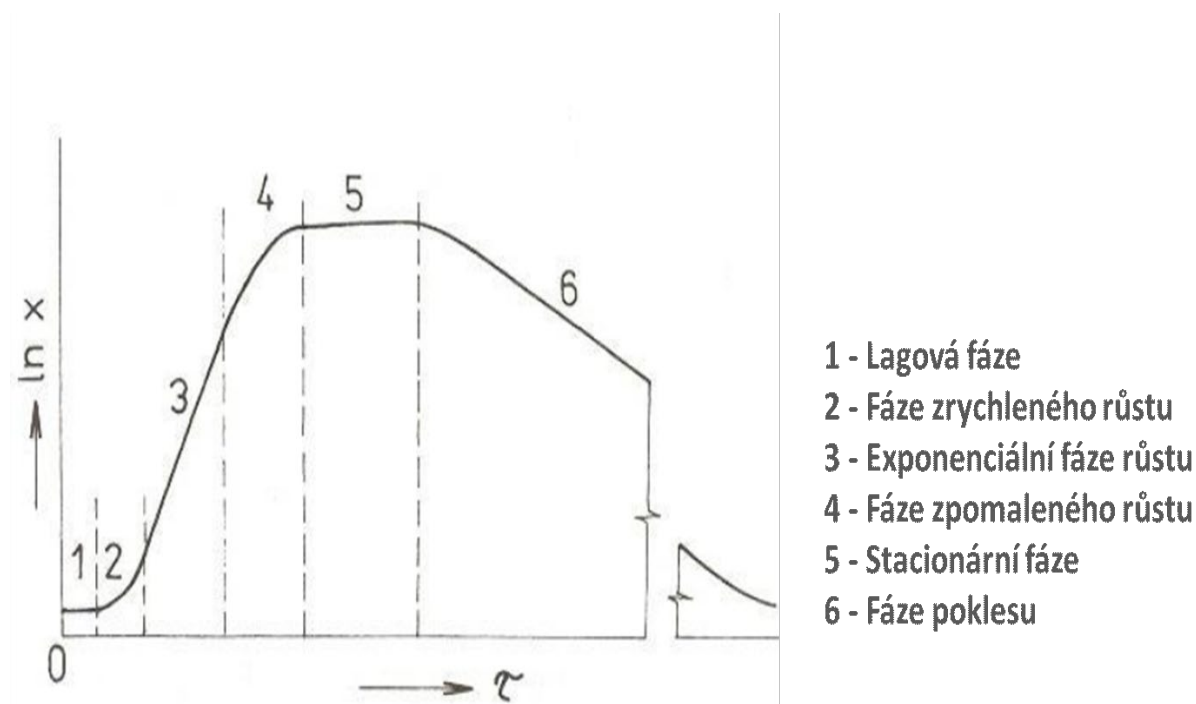
špatně biologicky rozložitelné, což bývá zapříčiněno špatnou adaptabilitou směsné kultury na danou látku. Snižování rychlosti rozkladu bývá způsobeno zvýšením toxicity sloučenin, větvením alifatického řetězce, u alifatických aminů vzrůstajícím počtem primárních, sekundárních a terciálních dusíkatých atomů obsažených v molekule. Naopak biologicky snadno rozložitelné jsou cukry, aminocukry, aminokyseliny, alifatické alkoholy, aldehydy a kyseliny. Degradční kapacita je vyjádřena jako maximální aktivita mikroorganismů za určitých environmentálních podmínek. Činnost těchto organismů bývá ovlivňována zejména fyzikálně-chemickými a biologickými faktory. [13]

2.2.3 Růst a množení mikroorganismů

Pochody při biologickém čištění odpadních vod jsou založeny na odstranění organických látek, kdy část těchto látek zoxiduje na oxid uhličitý a vodu a další část slouží jako látky zásobní a pro syntézu nových buněk. Polysacharidy a lipidy jsou nejčastěji užívány jako zásobní látky. Je důležité rozlišit, zda se jedná o růst nebo o rozmnožování. Pokud dochází k růstu, zvyšuje se koncentrace biomasy a nemusí nutně docházet k dělení buňky. Některé buňky před dělením na dvě buňky dceřiné, mohou svou velikost zvětšit až trojnásobně, naopak jiné buňky svou velikost nemění vůbec a rozmnožují se rozpadem za vzniku konidií a nedochází k nárůstu biomasy. Je tedy obtížné určit, zda se jedná o růst nebo množení mikroorganismů. Růst organismů lze vyjádřit růstovou křivkou obsahující šest fází. Velikost počátečních hmotnostních poměrů mezi substrátem a inokulem (S_0/X_0) je důležitým faktorem, zda v daném systému dochází k růstu nebo k rozmnožování. Jsou-li počáteční poměry S_0/X_0 vysoké, usuzujeme z toho, že se jedná o růst mikroorganismů spojený s rozmnožováním. [4]

Růstová křivka mikroorganismů je vyjádřena jako závislost rychlosti růstu na čase. První **lagová fáze** je nulová, jelikož mikroorganismy potřebují čas k adaptaci, aby se mohly začít množit. Navazuje na ni **fáze zrychleného růstu**, ve které se rychlost růstu postupně zvyšuje, dokud nedosáhne svého maxima. Plynule přechází do **fáze exponenciálního růstu**, v ní je rychlost rozmnožování buněk konstantní až do chvíle než klesne koncentrace substrátu na limitující hodnoty. Následuje **fáze zpomaleného růstu**, při které rychlost růstu pozvolna klesá, dokud nedosáhne nulových hodnot. Rychlost růstu je prakticky nulová, dochází substrát, přibývají metabolity a buňky už se téměř nemnoží, toto vyjadřuje **fáze stacionární**. Poslední perioda je nazývána **fází poklesu**. V této fázi je

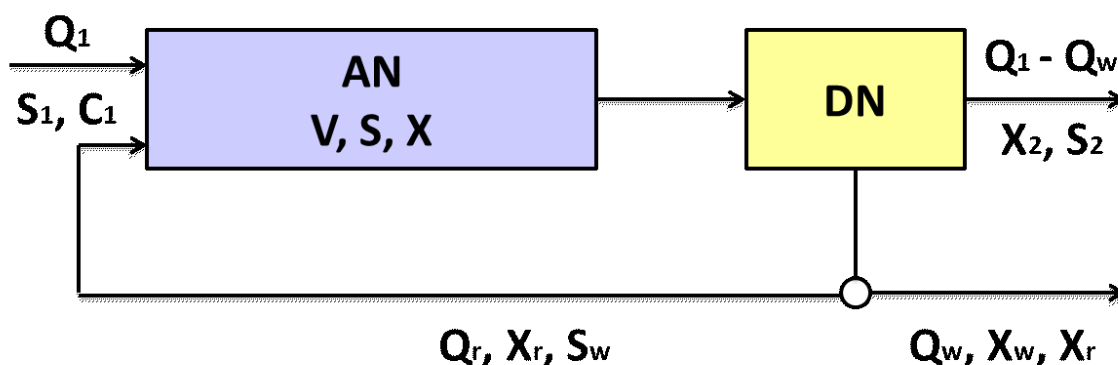
substrát již vyčerpán, dochází k odumírání a rozkladu buněk, k poklesu jejich počtu i celkové hmotnosti biomasy. [4, 14]



Obrázek 7: Růstová křivka mikroorganismů. [14]

2.2.4 Aktivační proces

Aktivační proces patří mezi nejstarší kontinuální kultivace mikroorganismů probíhající za nesterilních podmínek a patří mezi základní procesy biologického čištění odpadních vod. Principem je vytvoření aktivovaného kalu v nádrži, která je provzdušňována. Tento proces lze popsat pomocí blokového schématu na obrázku č. 8, který se skládá z vlastní biologické jednotky, tvořené z aktivační nebo aerační nádrže (AN), a z jednotky separační, jenž je nádrž dosazovací (DN). Do aktivační nádrže přitéká surová nebo odsazená odpadní voda v množství Q_1 s koncentrací organického znečištění S_1 , zde dochází k mísení s vratným aktivovaným kalem v množství Q_r a koncentrací sušiny X_r . Směs je intenzivně provzdušňována tlakovým vzduchem nebo mechanickými aerátory. Vyšší koncentrace biomasy v biologickém reaktoru je dosažena recirkulací. Z aktivační nádrže přechází aktivovaný kal do nádrže dosazovací, kde se separuje od vyčištěné vody. Nově vytvořená biomasa vznikající z odstraňování nerozpuštěných a rozpuštěných látek obsažených v odpadní vodě, je následně odstraňována v pravidelných intervalech ve formě přebytečného aktivovaného kalu Q_w . [4, 10]



Obrázek 8: Blokové schéma aktivačního procesu. (převzato a upraveno) [10]

AN – aktivační nádrž, DN – dosazovací nádrž, Q_1 – přítok, S_1 – koncentrace organického znečištění, Q_r – vratný aktivovaný kal, Q_w – přebytečný kal, $X_r = X_w$ – koncentrace sušiny vratného a přebytečného kalu

- **Aktivovaný kal**

Aktivovaný kal také nazývaný směsnou kulturou obsahuje bakterie převážně ve formě zoogleí, na rozdíl od čistých kultur, kde se bakterie volně pohybují. Mezi nejčastější rody, které se vyskytují v aktivovaném kalu, patří rody: *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus* anebo také nitrifikační bakterie *Nitrosomonas* a *Nitrobacter*. Ve směsné kultuře se nevyskytují pouze bakterie, ale přítomny jsou v malém množství i houby, plísně, kvasinky a z vyšších organismů mají pravidelné zastoupení protozoa, vířníci a hlístice. Pokud se v aktivovaném kalu vyskytnou vláknité mikroorganismy v převládajícím množství, mohou způsobit značné technické potíže, zejména dochází ke zhoršení sedimentačních a zahušťovacích vlastností kalu. Jako indikátor pro odhad stavu aktivovaného kalu se využívají prvoci, nejběžnější zástupci jsou *Vorticella*, *Opercularia* a *Epistylis*. Z experimentálních studií bylo zjištěno, že prvoci eliminují množství volně pohybujících se bakterií ve vyčištěné vodě a tím přispívají k jejímu vyčištění. [12]

Složení aktivovaného kalu z hlediska kvantity i kvality je závislé na mnoha parametrech, mezi které řadíme složení substrátu, dobu zdržení, zatížení a stáří kalu, přítok vratného kalu, koncentraci organických látek v odpadní vodě, účinnost aktivačního systému, který bývá ovlivněn hodnotou pH, nutriční nevyvážeností odpadní vody nebo oxygenační kapacitou, již se zajišťuje přívod kyslíku do aktivační nádrže. [10, 12]

I. Provzdušnění nádrží probíhá následujícím způsobem:

- I.** Pneumatická aerace – stlačeným vzduchem
- II.** Mechanická aerace – mechanickými aerátory
- III.** Kombinovaná aerace – kombinací předchozích dvou způsobů
- IV.** Hydropneumatická aerace – pomocí ejektorů nebo injektorů [4]

2.2.5 Srovnání aerobního a anaerobního procesu

Při porovnání anaerobní a aerobní technologie z hlediska přeměny odpadní organické látky na energeticky bohatý bioplyn, oplývá anaerobní postup značnou výhodou, jelikož téměř 90 % energie, která byla původně obsažena v substrátu, je zachována ve vzniklém bioplynu. Pouze 5 až 7 % této energie se spotřebuje na růst nové biomasy a 3 až 5 % je odebráno ve formě reakčního tepla. Zatím co u aerobních procesů je spotřebováno 60 % energie na tvorbu nové biomasy a až 40 % odchází ve formě reakčního tepla. Z hlediska bilance uhlíku je opět výhodnější užití anaerobní technologie, u níž se až 95 % uhlíku přemění na bioplyn a pouze 5 % přechází do biomasy. U technologie aerobní dochází k přeměně rovným dílem, tedy 50 % uhlíku ze substrátu se přemění na oxid uhličitý a 50 % na biomasu. [15]

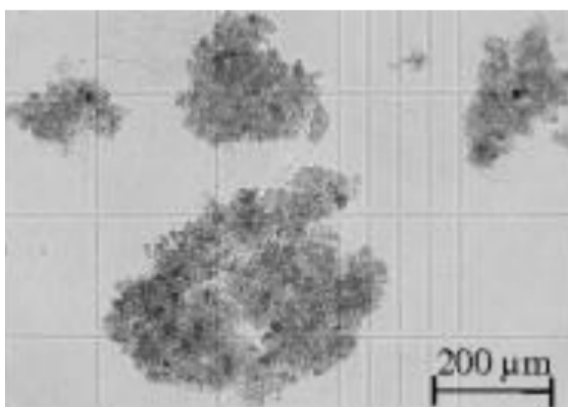
Výhodami anaerobního procesu oproti aerobnímu jsou nižší spotřeba energie, jelikož nedochází k provzdušňování nádrží, je produkováno nižší množství biomasy, kal není nutné stabilizovat, mikroorganismy nemají vysoké nároky na živiny a v systému lze udržet vyšší koncentrace biomasy. Oproti tomu mezi nevýhody patří nižší reakční rychlost, z důvodu vyšších objemů reaktorů, při vyšších zbytkových koncentracích na odtoku je nutno ještě aerobně dočistit, systém je citlivý na teplotu a doba zdržení je delší. [11]

Tabulka 1: Energetická bilance procesů. [11]

<i>Proces</i>	<i>Spotřeba na syntézu biomasy (%)</i>	<i>Ztráta ve formě tepla (%)</i>	<i>Energie v bioplynu (%)</i>
<i>Aerobní</i>	60	40	0
<i>Anaerobní</i>	5 - 7	3 - 5	90

2.3 Aerobní způsoby biologického čištění OV

Působením mikroorganismů v biologickém reaktoru, dochází k aerobnímu čištění odpadních vod. V procesu čištění je aktivním činidlem směsná kultura, která je nejčastěji kultivována ve formě suspenze jako aktivovaný kal v aktivační nádrži nebo v podobě nárůstu v biofilmových reaktorech. Až 95 % mikroorganismů obsažených v aktivovaném kalu nazýváme destruenty, jež zapříčiňují biochemický rozklad látek znečišťujících odpadní vodu. Tato skupina je převážně tvořena bakteriemi a v menší míře mikromycetami a bezbarvými sinicemi. Konzumenti reprezentují vyšší osídlení aktivovaného kalu a patří do druhé hlavní skupiny dělení mikroorganismů. Tuto skupinu tvoří jednobuněčné (protozoa) a mnohobuněčné (metazoa) organismy, jež využívají bakterie a další zástupce skupiny první jako zdroj potravy. Bakterie směsných kultur aktivovaného kalu se na rozdíl od čistých kultur vyskytují ve formě velkých vloček, a proto lze aktivovaný kal snadno oddělit od vyčištěné vody prostou sedimentací. [6]



Obrázek 9: Vločky aktivovaného kalu - nativní preparát. [6]

Po mechanickém vyčištění vstupuje odpadní voda do aeračního stupně biologického čištění. V této fázi je z odpadní vody mikroorganismy odstraněno až 99 % organického znečištění. K hlavním procesům tohoto stupně řadíme mineralizaci, kdy dochází ke vzniku oxidu uhličitého a vody odbouráním uhlíkatých organických látek, dále zde patří amonifikace, při které vzniká amonný iont rozkladem organických dusíkatých látek. Mezi další neméně důležité procesy patří odstranění fosforu nebo nitrifikace (spolu s denitrifikací, která bez přístupu vzduchu), což je biologické odstraňování anorganického dusíku. Tyto procesy jsou velmi žádoucí, jelikož nadměrné množství dusíku a fosforu přispívá k tvorbě eutrofizace povrchových odpadních vod. [16]

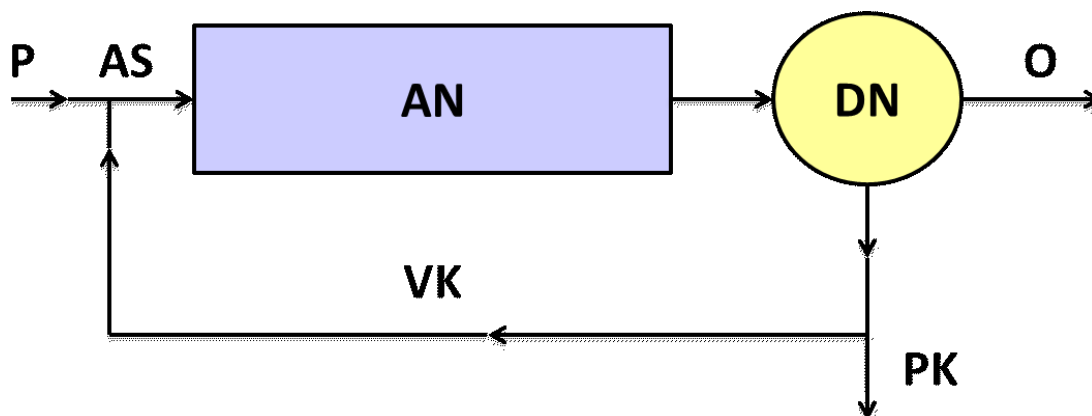
2.3.1 Základní způsoby kultivace aktivovaného kalu

Aktivovaný kal lze kultivovat čtyřmi způsoby, což je spojeno s dělením na systém jednorázový (diskontinuální), semikontinuální, kontinuální s pístovým tokem (ideální) a kontinuální s postupným tokem, směšovací (neideální). Kapalina při pístovém toku prochází rovnoměrně, což znamená, že částice postupují systémem řádně za sebou a tím se zdržují v nádrži stejně dlouhou dobu. Pokud má směs všude stejné složení i na odtoku ze systému, jedná se o systém s ideálním promícháváním. V praxi však existují pouze systémy reálné, tedy neideální, a pokud se průtok svým průběhem přibližuje pístovému toku, označuje se jako systém s postupným tokem a pokud je podobný systému s ideálním promícháváním, je nazýván jako směšovací. [6]

U diskontinuálního systému, tedy jednorázového, se mísí odpadní voda s aktivovaným kalem s následným provzdušňováním směsi. Provzdušňováním dochází k poklesu koncentrace BSK₅ a CHSK a tím nastává úbytek substrátu z počáteční hodnoty S_0 na S_t , která je závislá na době provzdušňování. Dochází-li k úbytku substrátu, narůstá zároveň množství sušiny biomasy z počáteční hodnoty X_0 na hodnotu X_t . Celý průběh je závislý na vstupním poměru hodnot S_0/X_0 , na tom jak jsou mikroorganismy aktivní a na charakteru organického znečištění odpadní vody. Po vyčerpání substrátu se proces ukončí, zruší se systém a nadále se v něm nepokračuje. Systém se využívá pouze pro laboratorní účely, pro čištění odpadních vod v praxi nemá význam. [6]

Pro semikontinuální systém je charakterizován jako časově se opakující jednorázový systém. Po určitém časovém úseku je odebrána část kultivačního média a biomasy, poté je chybějící část nahrazena novým roztokem substrátu. Tato kultivace se nazývá semikontinuální, jelikož se opakuje po libovolně dlouhou dobu s odebíráním stále stejného množství kultivačního média a biomasy. V současné době se tento systém využívá jako aktivace SBR (Sequential Batch Reactor system). [4]

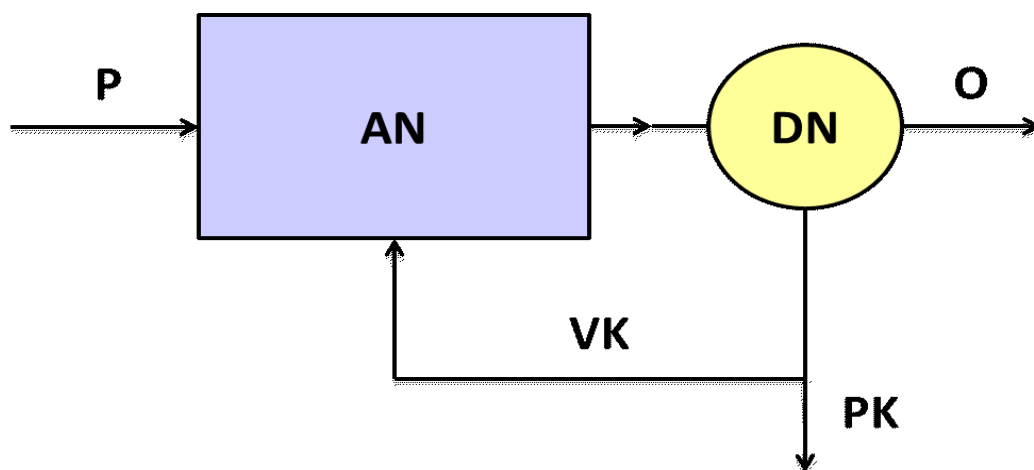
Kontinuální systém s postupným tokem se vyznačuje aktivační nádrží, jež má tvar až desítek metrů dlouhého koryta s poměrně malým průtočným profilem. Do aktivační nádrže vstupuje odpadní voda smíchaná s vratným aktivovaným kalem a následně je směs provzdušňována. Během průtoku nádrží se snižuje rychlost spotřeby kyslíku a dochází k postupnému klesání hodnot koncentrace substrátu v závislosti na délce nádrže. Mikroorganismy jsou ve styku se substrátem, jehož koncentrace se neustále mění. [12]



Obrázek 10: Blokové schéma kontinuálního systému s postupným tokem. [6]

AN – aktivační nádrž, AS – aktivační směs, DN – dosazovací nádrž, P – přítok, PK – přebytečný aktivovaný kal, O – odtok, VK – vratný aktivovaný kal

U směšovací aktivace přichází odpadní voda do nádrže odděleně od recirkulovaného kalu. V aktivační nádrži, která je intenzivně provzdušňována a promíchávána, dojde k promísení roztoku substrátu s vratným kalem. Promícháváním je zajištěno jednotné složení substrátu v celé nádrži, a proto je i koncentrace substrátu stejná na odtoku jako v celé nádrži. Z tohoto důvodu je rychlost, při které dochází k odstranění substrátu a rychlost spotřeby kyslíku konstantní. Jelikož je koncentrace substrátu v celé nádrži i na odtoku stejná, jsou mikroorganismy v kontaktu s nízkými a stále stejnými koncentracemi znečištění obsažených v odpadní vodě. [4]



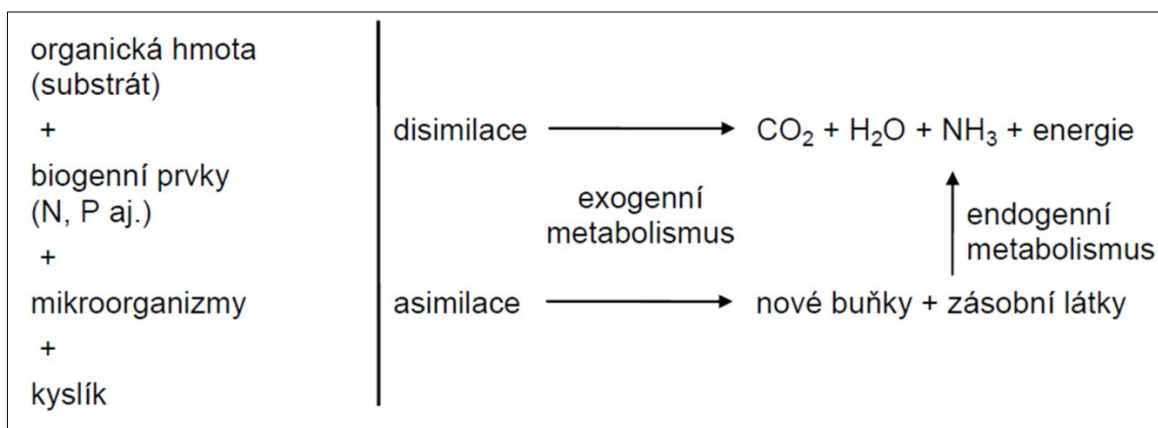
Obrázek 11: Schéma směšovacího systému. [6]

AN – aktivační nádrž, DN – dosazovací nádrž, P – přítok, PK – přebytečný aktivovaný kal, O – odtok, VK – vratný aktivovaný kal

2.3.2 Mechanismus aerobního biologického čištění

Činností aerobních organismů dochází k biochemickým procesům, při nichž se rozkládají organické látky obsažené v odpadní vodě. Rozpad organického znečištěný je podmíněn oxidačními procesy za přítomnosti kyslíku. [1]

Obrázek č. 8 znázorňuje mikrobiologický rozklad organických látek v oxických podmínkách. Působení mikroorganismů na rozklad látek v přítomnosti kyslíku souhrnně nazýváme jako exogenní metabolismus. Konečnými produkty tohoto procesu jsou anorganické látky, CO_2 a voda, vznikající mineralizací organických látek. Pokud byl ve směsi přítomen dusík, tak vzniká i amoniak. Pro tvorbu nových buněk a jako zásobní látky potřebují mikroorganismy biogenní prvky, které získávají z odpadní vody. Pokud není těchto prvků v odpadním substrátu dostatek, je potřeba ho do odpadní vody doplnit. Mikroorganismy mohou také získávat energii procesem endogenního metabolismu a to v případě nedostatku exogenního substrátu. [1, 16]



Obrázek 12: Mikrobiologický rozklad organických látek za přítomnosti kyslíku. [1]

U aerobního čištění odpadních vod rozlišujeme dva způsoby procesu. Prvním je přirozený způsob, u něhož jsou simulovány přírodní podmínky. Ke druhému se řadí způsob umělý probíhající v reaktorech. Umělé způsoby dále dělíme na procesy s přisedlou biomasou a s biomasou ve vznosu (aktivaci), jenž je považován za nejčastěji používaný při čištění odpadních průmyslových vod. Obsahuje-li odpadní voda velké množství organických látek, je vhodné tuto vodu nejprve vyčistit anaerobně a na odtoku poté zařadit aerobní dočištění. Ze vstupní a výstupní koncentrace odpadní vody se stanoví hodnota BSK_5 , ze které se posoudí čistící účinnost zvoleného procesu. [1]

2.4 Anaerobní způsoby biologického čištění OV - stabilizace kalů

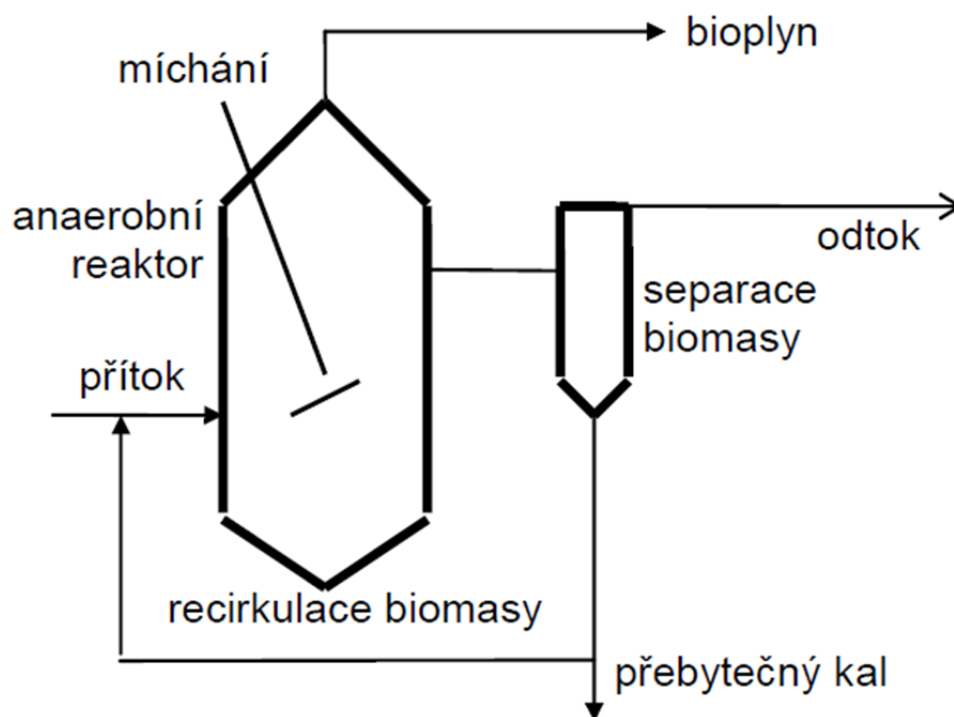
Největší význam při anaerobním rozkladu organického znečištění a anaerobní stabilizaci kalů mají methanogenní bakterie, které jsou velmi citlivé na změny životních podmínek. Nevýhovující podmínky pro anaerobní mikroorganismy se mohou projevit snížením růstové rychlosti a nízkou rychlostí metabolismu, toto lze eliminovat udržováním vysoké koncentrace biomasy v reaktoru. V přírodě tento proces probíhá samovolně, zejména na dně rybníků a v močálech. Proces biologického čištění v anaerobních podmínkách se využívá převážně k odstranění organického znečištění se širokým rozsahem koncentrací a ke stabilizaci kalů. Anaerobní procesy čištění odpadních vod se neustále zdokonalují a využívají k tomu nejnovější poznatky z oborů bioinženýrství, biochemie, technologie vody, mikrobiologie a ostatních vědních oborů. [6, 12]

Organické znečištění je likvidováno mikroorganismy v anaerobních podmínkách za vzniku bioplynu využívající se jako alternativní zdroj obnovitelné energie, který se skládá hlavně z metanu a oxidu uhličitého. Rozklad organického znečištění obsažené v surovém kalu za vzniku metanu, nazýváme obecně methanizace, což je soubor procesů probíhajících bez přístupu vzduchu. Mezi konečné produkty, které vznikají při tomto rozkladu, patří plyny (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S), biomasa a zbytky organických látek, které jsou již nerozložitelné. Vzniklý kal nazýváme jako stabilizovaný, který je z hygienického a sensorického hlediska nezávadný pro další použití. Procesy anaerobního čištění odpadních vod, při nichž dochází ke stabilizaci kalů, mají nízkou energetickou náročnost, což je jednou z hlavních výhod, těchto procesů. [12, 17]

2.4.1 Kultivace a mikrobiologie anaerobního procesu

Anaerobní mikroorganismy se v procesu čištění odpadních vod vyskytují jako volní jedinci, u nichž je nevýhoda vyplavování ze systému, nebo ve formě nárůstů (biofilmu) na pevném podkladu či v suspenzi. K základní biomase podílející se na odstranění organického znečištění patří **hydrolytické a fermentační mikroorganismy** působící v prvních dvou krocích anaerobního procesu a jsou zodpovědné za hydrolýzu a acidogenezi. Neméně důležitou skupinou jsou **bakterie acetogenní**, jelikož rozkládají vyšší organické kyseliny, alkoholy a některé aromatické sloučeniny na kyselinu octovou, oxid uhličitý a vodík. Některé druhy **homoacetogenních mikroorganismů** jsou schopné

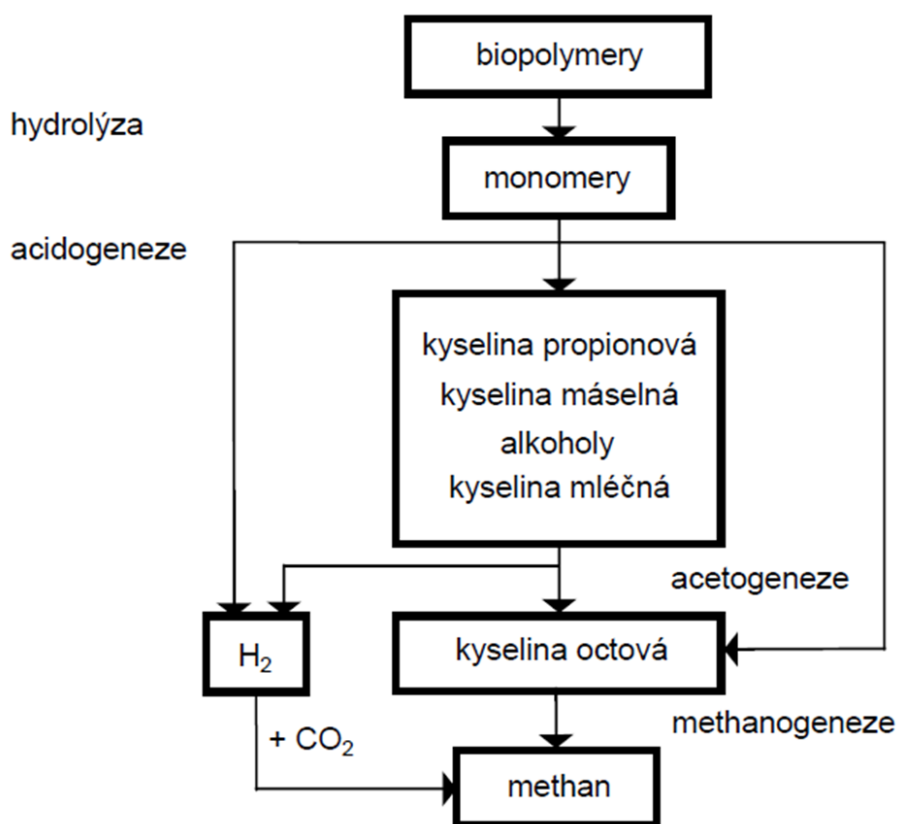
růst na jednouhlíkatých (H_2 a CO_2 , methanol a CO_2) či víceuhlíkatých substrátech (hexosa, kyselina mléčná) a netvořit při tom vodík, protože mají k dispozici metabolismus s vysokou termodynamickou účinností. Naopak jiné druhy bakterií této skupiny spotřebovávají vodík při růstu na oxidu uhličitým a tím zajistí v systému nízký parciální tlak. Velký význam mají **mikroorganismy desulfurikační a denitrifikační**. Dokáží růst na víceuhlíkatých substrátech a s užitím síranů a dusičnanů jako akceptor elektronů vytvářejí methanogenní substráty, do kterých se řadí kyselina octová, vodík, sulfan a amoniak. Svou činností podporují methanogenezi a stávají se tak konkurenty methanogenních bakterií z hlediska využití substrátu jako zdroje potravy. V některých případech může dojít i k utlumení methanogeneze. Anaerobní proces rozkladu organického znečištění zakončují **methanogenní bakterie**, jejichž výslednou činností vzniká žádoucí plyný produkt – methan. Tato skupina mikroorganismů je velmi citlivá na životní prostředí a má vysoké požadavky na složení substrátu, proto se často řadí mezi rozhodující faktor pro průběh celého procesu čištění. Methanogenní bakterie se řadí ke skupině *Archaeobakterie*, jelikož jsou fylogeneticky blízké nejprimitivnějším organismům, které žily na počátku vzniku života na Zemi. [12, 15, 18]



Obrázek 13: Znázornění anaerobního reaktoru s biomasou v suspenzi. [1]

2.4.2 Mechanismus anaerobního biologického čištění

Anaerobní proces obsahuje sled biologických postupů, během nichž skupina mikroorganismů štěpí biologicky odbouratelný organický substrát za nepřítomnosti kyslíku. Součinností mikroorganismů dochází k metabolickým procesům, které na sebe navzájem navazují a produkty metabolismu vznikající činností mikroorganismů slouží jako substrát pro další skupinu anaerobní biomasy. Celý proces probíhá ve fermentoru, kde se kromě převládající skupiny bakterií vyskytují i další významné organismy, jenž plní důležitou roli na počátku fermentace. Tato skupina organismů, kam patří zejména bičíkovci, houby a kvasinky, dokáží produkovat enzym, kterým mohou rozkládat například ligninocelulosoový materiál. Organické znečištění se rozkládá za působení tří fází, kam se řadí hydrolýza (zkapalnění), kyselá geneze – acidogeneze a acetogeneze (produkce kyselin) a methanogeneze (produkce bioplynu). Hydrolýza je mechanismus, kterým se organická látka rozkládá na funkční molekuly. Tyto molekuly reagují s kyselinami a během druhé fáze tvoří kyselinu octovou. V poslední fázi se z kyselin extrahuje plyný metan. Anaerobní stabilizace kalu probíhá jako součást čistícího procesu. [1, 17]



Obrázek 14: Schéma znázorňující anaerobní rozklad organických látek. [1]

V první fázi rozkladu organického znečištění dochází k **hydrolýze**. V tomto procesu se působením extracelulárních enzymů štěpí biopolymery, což jsou složité organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny), na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě, tzv. monomery, jež jsou na rozdíl od vysokomolekulárních látek schopny transportu do buněk. Tuto etapu rozkladu zajišťují převážně fermentační bakterie. [1, 19]

Produkty hydrolytického štěpení přecházejí do druhé fáze procesu a to do **acidogeneze**. Nízkomolekulární látky nacházející se uvnitř buňky jsou dále rozkládány na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý a vodík). Důležitými parametry jsou složení počátečního substrátu, podmínky prostředí a parciální tlak vodíku. Pokud je tento tlak nízký, jsou produkovány kyselina octová, oxid uhličitý a vodík, naopak při tlaku zvýšeném se tvoří vyšší organické kyseliny (propionová, máselná), alkoholy (ethanol) a kyselina mléčná. [15]

Následující stádium rozkladu se nazývá **acetogeneze**. V této fázi jsou vyšší produkty acidogeneze oxidovány na oxid uhličitý, vodík a kyselinu octovou. Důležitou roli zde sehrávají Syntrofní acetogenní mikroorganismy, jelikož dokáží produkovat vodík a rozkládat vyšší organické kyseliny (než je kyselina octová), alkoholy a některé aromatické sloučeniny. Soužití těchto mikroorganismů s methanogenními a sulfátredukujícími bakteriemi je nezbytné, neboť tyto bakterie spotřebovávají vytvořený vodík. Pokud je obsah vodíku v systému v přebytném množství, může dojít k inhibici činnosti acetogenních mikroorganismů a s tím spojená snížená produkce methanogenních substrátů v systému. [15, 19]

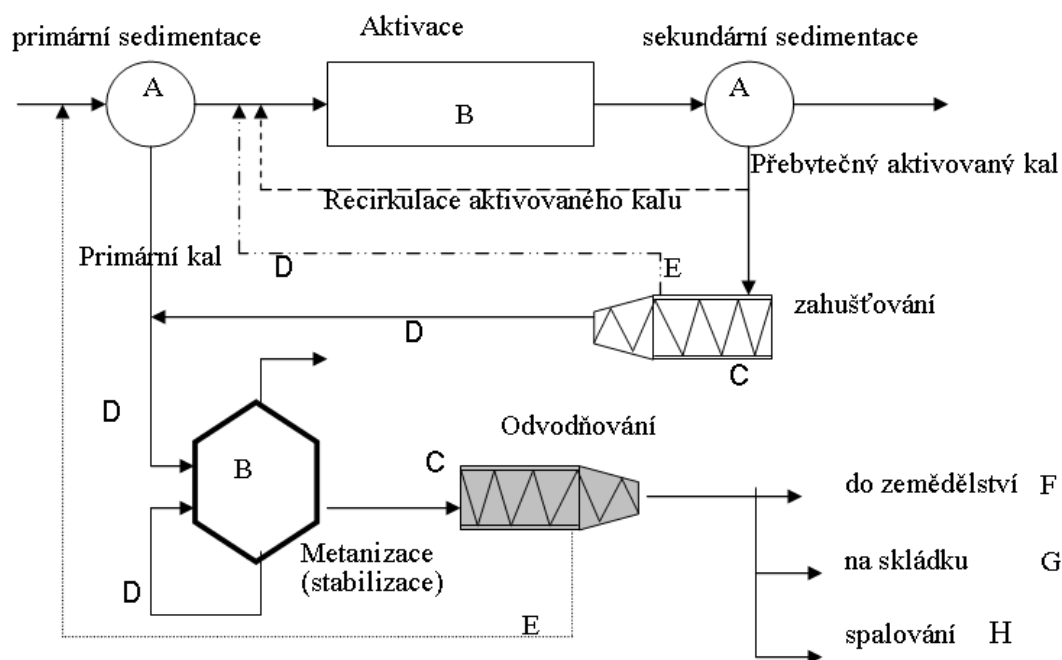
Konečnou fází rozkladu je **methanogeneze**. Methanogenní bakterie v tomto stádiu procesu štěpí jednouhlíkaté (metanol, kyselina mravenčí, metylaminy, vodík, oxid uhelnatý a uhličitý) a víceuhlíkaté látky (kyselina octová) na metan a oxid uhličitý. Aby mohla methanogeneze probíhat co nejrychleji, měly by být všechny předcházející procesy v dynamické rovnováze. Methanizací dochází k přeměně většiny organických látek na bioplyn. Vzniklý bioplyn má pro ČOV velký přínos. Jednak vzniká v takovém množství, že může sloužit k ohřevu a výrobě elektrické energie v kogeneračních jednotkách a ČOV se tak stává z energetického hlediska soběstačnou a ve druhé řadě přispívá ke snížení skleníkového efektu, tím že je obnovitelným zdrojem energie. Výsledkem je stabilizovaný kal, který pokračuje na odvodnění. [3, 19]

2.5 Charakteristika čistírenských kalů

Odpadní kal je směsí tuhé a kapalné fáze, přičemž látka v tuhém skupenství musí být rozptýlena v souvislé kapalné fázi. Ve znečištěných vodách zauímají sice jen 1 – 2 % z celkového obsahu, ale je v nich zkoncentrováno 50 – 80 % původního znečištění. Mezi hlavní znečištění, jenž čistírenské kaly obsahují, patří zejména patogenní mikroorganismy, toxické chemické látky a těžké kovy. Zdrojem patogenního znečištění jsou především exkrementy infikovaných lidí a zvířat, do kterých se řadí viry (hepatitida typu A), bakterie (*Salmonella*, *Escherichia coli*), protozoa a parazitíční červi. [3]

- **Nakládání s kaly:**

Na větších ČOV se surový kal, jenž vzniká jako směs kalu primárního a aktivovaného, zpracovává nejprve zahušťováním. Zahuštěním se zvýší obsah sušiny v kalu, který pokračuje do procesu methanizace. Po ukončení methanizace se v uskladňovací nádrži oddělí kalová voda a vzniklý stabilizovaný kal pokračuje na odvodnění. Na malých ČOV se využívá aerobní stabilizace kalů, která je prováděna dlouhodobým promícháváním vzduchem, při kterém dochází k odstranění organických látek, čím se jednak kal zahustí a také stabilizuje. Takto stabilizovaný kal pokračuje na odvodnění. [20]



Obrázek 15: Základní schéma kalového hospodářství na ČOV. [21]

Obsah sušiny v kalu vyjadřuje jeho koncentraci a bývá uváděn v g/l nebo %. Složení a obsah sušiny kalů jsou závislé na množství znečištění obsaženém v odpadních vodách přitékajících na ČOV a na použité technologii jejich čištění. [21]

Téměř 80 % suspendovaných částic se v tuhé fázi kalu vyskytuje ve velikosti nad 0,1 mm a zbylých 20 % pod velikost částic 0,1 mm. Množství usazených kalů je závislé na mnoha ukazatelích. Patří zde například volba kanalizačního systému, stupeň životní úrovně obyvatelstva, množství průmyslových odpadních vod, které přitékají jednotnou stokovou sítí zároveň s městskými splaškovými vodami, na druhu a stupni čištění a na velikosti zatížení zařízení na ČOV. [3]

Tabulka 2: Složení kalu. (převzato a upraveno) [3]

Složka	% složek		
	<i>Primární</i>	<i>Aktivovaný</i>	<i>Vyhnílý</i>
<i>Organická hmota</i>	60 - 80	60 - 75	45 - 60
<i>Inertní látky</i>	20 - 40	25 - 40	40 - 45

- **Kaly vznikající na ČOV:**

- 1) **Primární kal** - vzniká sedimentací tuhé složky, která se odděluje od odpadní vody z primárního čištění. Tento proces probíhá v usazovacích nádržích. Tento kal má zrnitou strukturu a tvoří ho nerozpuštěné látky, které pošly přes mechanické předčištění (přes lapák písku a česle). Obsah sušiny primárního kalu se pohybuje okolo 2,5 - 5 %.
- 2) **Přebytečný aktivovaný kal** - tento kal vzniká procesem biologického čištění OV. K separaci od vyčištěné vody dochází v dosazovacích nádržích. Z velké části je ovlivněn procesem, při kterém vznikl. Jeho charakter je vločkovitý s obsahem sušiny v kalu 0,5 - 1,5 %. Kromě bakterií, které se v aktivovaném kalu vyskytují ve formě zoogléí, se zde v menší míře nacházejí i houby, plísňe, kvasinky, protozoa, vířníci a hlístice. Zvýšená přítomnost vláknitých bakterií v aktivovaném kalu způsobí zhoršené usazovací a zahušťovací schopnosti kalu. Tento kal se dokáže oddělovat od kapalné fáze prostou sedimentací.
- 3) **Surový kal** - jedná se o kal, který vzniká spojením kalu primárního a aktivovaného. Tento kal dále vstupuje do fermentoru a dochází k jeho anaerobní stabilizaci.

V závislosti na teplotě, může docházet zároveň k jeho hygienizaci. Tento kal má obsah sušiny okolo 2 - 3 % a před samotným procesem stabilizace bývá ještě zahuštěn na obsah sušiny 4 - 6 %. Jeho zahuštěním se zvyšuje energetická výtěžnost.

- 4) Stabilizovaný kal** - tento kal je výsledkem anaerobní stabilizace, jež probíhala ve fermentoru. Takto stabilizovaný kal je dále zahušťován na obsah sušiny v rozmezí 20 - 35 %. Surový kal, který prošel stabilizací, se nejvíce svým prvkovým složením podobá hnědému uhlí. Porovnání je zobrazeno v následující tabulce. [2, 3]

Tabulka 3: Porovnání prvkového složení anaerobně stabilizovaného kalu a hnědého uhlí. (převzato a upraveno) [2]

	<i>Bezvodé hnědé uhlí</i>	<i>Kal z ČOV (sušina)</i>	<i>Jednotky</i>
<i>Obsah vody</i>	11 - 15	2 - 10	(hm. %)
<i>Obsah popela</i>	4	20 - 30	(hm. %)
<i>Těkavé látky</i>	42 - 44	20 - 50	(hm. %)
<i>Výhřevnost</i>	21 200	8 000 - 12 000	(MJ/kg)
<i>Uhlík</i>	56 - 59	20 - 30	(hm. %)
<i>Vodík</i>	4,2 - 4,3	1,5 - 5	(hm. %)
<i>Kyslík</i>	20 - 21	8 - 16	(hm. %)
<i>Dusík</i>	0,6 - 0,7	1 - 5	(hm. %)
<i>Síra</i>	0,35	1 - 2	(hm. %)

2.6 Zahušťování kalů

Zásadou zahušťování je snížení obsahu vody a zvýšení koncentrace tuhých látek obsažených v kalech na minimálně 1,5 - 4 % sušiny. Než dojde k anaerobní stabilizaci kalů ve vyhnívacích nádržích, je důležité vstupní kal, tedy surový kal, zahustit. Zahuštěním kalu se zvýší koncentrace sušiny kalu až trojnásobně při době zdržení 1 - 5 dní a tím se zároveň sníží hydraulické zatížení kalového hospodářství. U malých ČOV dochází k zahušťování zároveň se stabilizací kalu. Biologické kaly mohou být zahuštěny v rozmezí 3 - 6 % a primární kaly okolo 6 - 8 % sušiny. Zahušťováním kalu obecně dochází k redukci jeho

objemu, což usnadňuje jeho další zpracování, a zároveň se snižují provozní náklady. Zahušťování kalu můžeme rozdělit na zahušťování gravitační a mechanické. Do gravitačního zahušťování patří zejména zahušťovací nádrže, u kterých se využívá proces sedimentace kalu. [3, 21]

K mechanickým možnostem zahušťování kalů patří flotace, odstředivky, síťopásové lisy a mnoho dalších. Jelikož se tato zařízení na studované ČOV Brušperk nevyskytují, nebudu je tady ani rozvádět. [2]

2.7 Stabilizace kalů

Stabilizovanost kalu se posuzuje dle následujících kritérií, jako jsou toxicita, infekčnost, zápach, obsah organických látek a množství odstranění těchto látek, TOC, CHSK, BSK₅, produkce bioplynu, mikrobiologie kalu, odvodnitelnost, viskozita a mnoho dalších. Nejdůležitějším faktorem je množství a kvalita organických látek, na kterých následně závisí fyzikální vlastnosti a chování kalu. Pokud není kal dostatečně stabilizován, lze jej v konečném důsledku považovat za nebezpečný odpad. Stabilizováním kalů dosáhneme omezení zápachu, biologické rozložitelnosti a mikrobiálního oživení. [3, 24]

- **Anaerobní stabilizace**

Patří k nejrozšířenějším způsobem stabilizace kalu. Tento proces probíhá v poslední fázi anaerobního biologického čištění, tedy v methanizaci. Anaerobní stabilizaci kalu můžeme dále rozdělit na mezofilní nebo termofilní, které se od sebe liší rozdílnými teplotami. V procesu mezofilní anaerobní stabilizace se jedná o provozní teplotu 38 - 40 °C a v termofilním procesu dosahuje provozní teplota hodnot okolo 55°C. Přechodem z procesu mezofilního na termofilní je navíc zabezpečena hygienizace kalu. Tento typ stabilizace se využívá pro větší ČOV, většinou nad 30 - 50 tisíc ekvivalentních obyvatel. Převážně se využívá v ČOV, které používají i primární sedimentaci, ale není to podmínkou, jelikož některé čistírny anaerobně stabilizují pouze přebytečný aktivovaný kal. Primární kal je pro anaerobní stabilizaci velice důležitý, protože obsahuje větší množství organických látek na rozdíl od kalu biologicky aktivovaného, který je tvořen převážně mikroorganismy. A právě rozkladem těchto organických látek se zvyšuje výtěžnost bioplynu, a zároveň se snižuje organický podíl obsažený v surovém kalu. [24]

Na ČOV se nezpracovává každý kal zvlášť, ale vždy se jedná o směs kalu primárního a kalu přebytečného aktivovaného. Primární kal je smíchán s aktivovaným přebytečným kalem, který nejprve prošel gravitačním nebo mechanickým zahušťováním. Vznikne směsný kal, který je dále veden do zásobní nádrže surového kalu. Vzniklý surový kal je přidáván do methanizační nádrže v pravidelných intervalech nebo kontinuálně, a zároveň dochází k odběru kalu, který je již stabilizován. Následuje odvodnění a oddělená kalová voda se vrací zpět do čistírenského procesu. V případě nedostatečné stabilizace ještě probíhá hygienizace, například při použití v zemědělství. Častěji je užívána mezofilní anaerobní stabilizace probíhající při teplotách 35 - 40 °C. Anaerobní procesy probíhají ve dvou fázích. První fáze probíhá v anaerobním reaktoru, kdy dochází k ohřevu kalu a jeho míchání. Ve druhém stupni kal přechází do uskladňovací nádrže, kde dozrívají methanizační pochody. [6]

➤ **Metody míchání kalu v methanizační nádrži:**

- 1) **Mechanické** - využití různých druhů míchadel
- 2) **Hydraulické** - *recirkulace kalu* → kal je z nádrže odebírán a nový kal je tam pod tlakem vstřikován, tímto způsobem dochází k míchání kalu v nádrži
- 3) **Pneumatické** - *recirkulace plynu* → odčerpáváním bioplynu z nádrže a opětovným vháněním zpět dochází k promíchávání

➤ **Možnosti vytápění methanizační nádrže:**

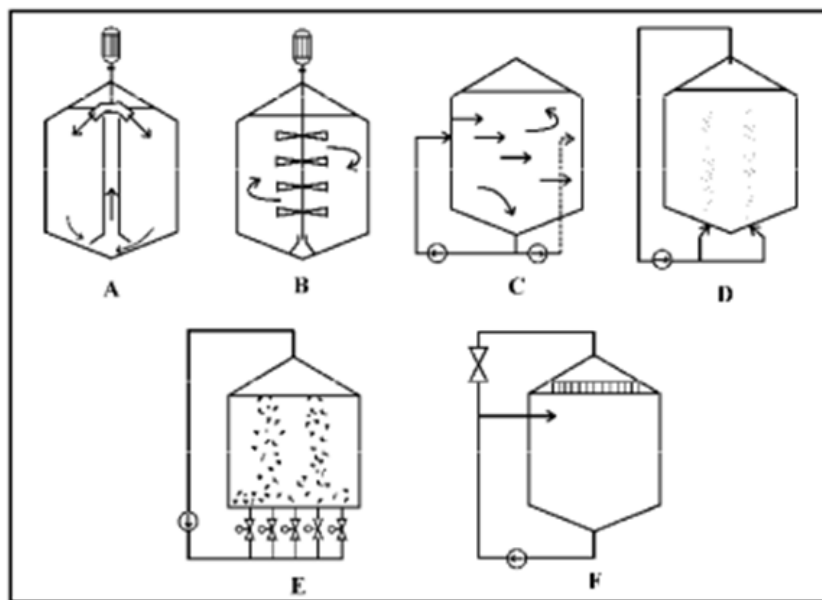
- 1) **Topná tělesa** - dochází k vytápění uvnitř nádrže s užitím teplé vody nebo páry
- 2) **Výměníky tepla** - k ohřevu dochází vně nádrže použitím teplé vody nebo páry, při tomto vytápění dochází k ohřevu surového a recirkulovaného kalu
- 3) **Přímé injektování vodní páry** - provádí se buď přímo do nádrže, nebo se k tomu využívá recirkulovaný kal, který následně nádrž ohřeje
- 4) **Plynové hořáky** - využívá se provedení ponorných hořáků a slouží k ohřevu surového kalu [6]

V praxi se využívají různé kombinace míchání a ohřevu methanizačních nádrží, aby bylo dosaženo co nejlepších výsledků. Dobře stabilizovaný kal již netvoří zápach, snadno se odvodňuje a je hygienicky nezávadný. Barva takto stabilizovaného kalu je tmavá až černá, což je způsobeno sulfidem železnatým, který je ve vyhnilém kalu nerozpuštěný. [6]

- **Aerobní stabilizace**

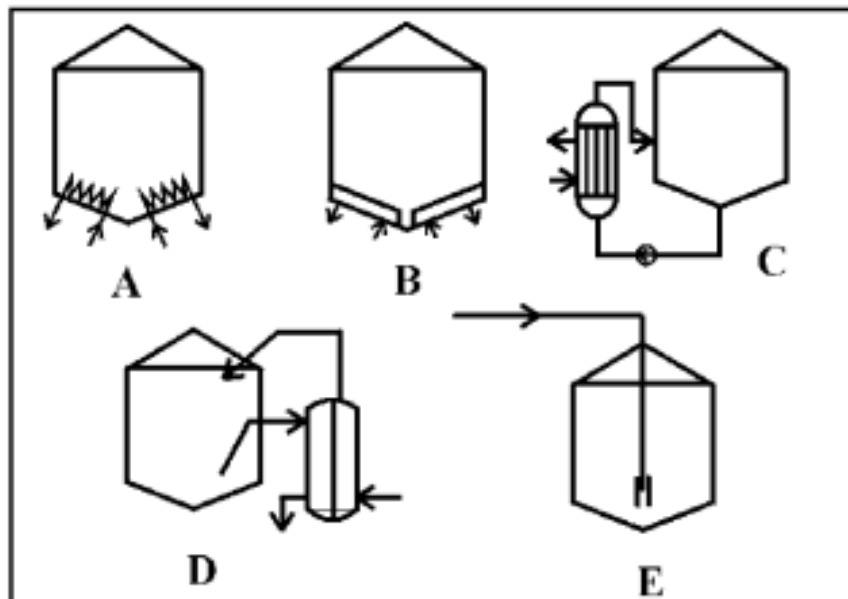
Aerobní stabilizace se využívá ve většině případů u menších ČOV, tam kde čistírny nevyužívají primární sedimentaci a na ČOV, kde není vhodné použít anaerobní stabilizaci. Skládá se z oddělených nádrží, které jsou vybaveny aerací, mechanickým míchadlem a zónovými odběry odsazené kalové vody. Proces stabilizace probíhá na základě střídání aerace, sedimentace, odpouštění kalové vody a míchání. Při procesu míchání dochází k odběru zahuštěného stabilizovaného kalu, který dále pokračuje na odvodnění. Stabilizace probíhá při teplotě okolo 20° C. Za stálého provzdušňování suspenze dochází k oxidaci a kal je zmineralizován. Zvláštním typem je termofilní aerobní stabilizace probíhající při teplotě 50 °C za stálého provzdušňování. Pokud je doba zdržení dostatečná, dochází nejen ke stabilizaci, ale i k hygienizaci kalů. [24]

Za stabilizovaný kal, lze pokládat takový kal, který prošel vhodnou úpravou a u něhož došlo k celkovému snížení množství organicky rozložitelných látek a mikrobiální aktivita klesla na minimum a nepodléhá už dalším samovolným biologickým rozkladům. Vyhnilý stabilizovaný kal je před odvodněním uskladněn v usazovacích nádržích. Nádrže mohou být kryté, ale také nemusí. V nádrži dochází k promíchávání míchadlem. [21, 25]



Obrázek 16: Příklady míchání methanizačních nádrží. [6]

A - Mechanické turbínové míchání, B - Mechanické lopatkové míchání, C - Hydraulické míchání, D - Pneumatické míchání s pevnými vstupy, E - Pneumatické míchání programově řízené, F - Hydraulické míchání s odpěňovací sprchou



Obrázek 17: Příklady vytápění methanizačních nádrží. [6]

A - Vnitřní výměník, B - Duplikátorový plášť, C - Externí výměník, D - Rekuperační výměník, E - Přímotopná pára

3 METODY A ZPŮSOBY ODVODŇOVÁNÍ KALŮ

Když je již vyhnílý kal stabilizován, pokračuje v procesu na odvodnění a zbavení se tak přebytečné vody vázané v kalu. Pokud nebyl kal dostatečně stabilizován a nedošlo tak k hygienizaci, je potřeba ho tomuto procesu podrobit. K hygienizaci kalu nemusí docházet bezprostředně po odvodnění, ale může se provést před zahušťováním nebo zároveň v procesu stabilizace.

V procesu čištění odpadních vod dochází ke vzniku kalů s různými vlastnostmi a hlavně obsahujíc přebytečnou vodu, kterou je nutno snížit, čímž se zvýší obsah sušiny v kalu. Odvodňování je fyzikální operace určená ke snižování obsahu vlhkosti v kalu a k dosažení většího objemového snížení, než jaké bylo provedeno zahušťováním. Odvodněním dochází k podstatnému zmenšení objemu a snížení investičních i provozních nákladů na následnou manipulaci s kalem. Odvodnění kalů patří k základním požadavkům v navazujících technologiích jeho zpracování, využití a likvidaci. Mezi běžně používané odvodňovací procesy patří mechanické a přírodní procesy, přičemž strojní odvodňování je mnohem rychlejší a účinnější než přirozený proces. K mechanickým patří odstředivky, filtrační zařízení, lisy různých konstrukcí, otáčivé vakuové filtry, flotační zařízení a mnoho dalších. Vhodné odvodňovací zařízení se volí zejména dle požadovaného stupně odvodnění a dostupného prostoru pro umístění zařízení. Důležitým krokem před odvodňováním je použití flokulačních činidel, mezi které nejčastěji patří hlinité a železité soli tvořící příslušné hydroxidy. Po použití flokulantů se hydrofilní organické kaly stávají filtrovatelnou suspenzí. Základní podmínkou pro následné zpracování kalu, jako je například spalování, je dostatečně odvodněný kal. Výhodou odstranění nadbytečné kalové vody, se taky snižují dávky vápnění při hygienizaci kalů. [1, 3, 26]

Tabulka 4: Metody odvodňování kalů. [23]

	<i>Aktivovaný kal</i> (v % sušiny)	<i>Surový kal</i> (v % sušiny)	<i>Stabilizovaný kal</i> (v % sušiny)
<i>Sedimentace</i>	0,5 - 1,5	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0
<i>Zahušťování</i>	3,0 - 6,0	6,0 - 12	6,0 - 12
<i>Odvodňování</i>	15 - 25	20 - 30	25 - 40
<i>Sušení</i>	do 100	do 100	do 100

3.1 Přírozené způsoby odvodňování

Mezi přírodní metody odvodnění řadíme kalová pole a kalové laguny.

3.1.1 Kalové pole

Kalové pole si můžeme představit jako mělké nádrže, které jsou zcela otevřené. Ze stavebního hlediska je jejich dno nádrže tvořeno betonem pokrytým vrstvou šterku nebo šterkopísku. V této vrstvě je umístěno drenážní potrubí sloužící k odvodu oddělené kalové vody. Do nádrže je napouštěn stabilizovaný kal dosahující výšky 20 - 40 cm. K odvodnění kalu dochází vsakováním nadbytečné kalové vody do drenážní vrstvy a také výparem. Na okrajích nádrže jsou vytvořeny přepady sloužící k odvodu odsazené kalové vody, jejíž kvalita musí splňovat podmínky pro přímé vypouštění do recipientu. Usazený kal je vybírán nakladači či bagry a transportován k dalšímu konečnému zpracování. Odvodňování na kalových polích je založeno na procesu sedimentace. Každá nádrž pracuje ve třech cyklech a to napouštění, vysychání a vybírání s přípravou pro další napouštění. Doba zdržení kalu je jeden až dva měsíce. Po této době zdržení získáme přibližně vrstvu kalu o tloušťce 10 cm obsahující 10 - 20 % sušiny. Mezi nevýhody nepatří pouze časová náročnost, ale je to také závislost na klimatických podmínkách (sluneční energie a povětrnostní vlivy), vysoká investiční nákladnost a velká zastavěná plocha. Aby mohl kal pokračovat k finálnímu zpracování, je potřeba ho hygienizovat, což se nejčastěji provádí vápněním. Podmínkou správné hygienizace je minimálně 23 cm tloušťka vrstvy kalu při teplotě vyšší než 0 °C a době zdržení 3 měsíce. [1, 3, 22]



Obrázek 18: Kalové pole úpravny vod. [22]

3.1.2 Kalová laguna

Kalová laguna je považována za jednoduchou a nákladově efektivní metodu přirozeného odvodňování, která je však závislá na klimatických podmínkách, velmi časově a prostorově náročná. V podstatě se jedná o nádrž, která má po obvodu vybudované hráze. Tyto hráze jsou tvořeny zeminou a zpevněny kamenným záhozem, drnováním, dlažbou nebo panely. Na rozdíl od kalového pole neobsahuje dno laguny drenážní vrstvu. V procesu odvodňování kalů v lagunách se uplatňují čtyři na sebe navazující procesy, kterými jsou odsazení, zahuštění, promrznutí a vysychání. Většinou se odvodňování provádí na dvou cyklicky pracujících jednotkách, při čemž každá je provozována samostatně. Případně se vybuduje ještě třetí, která plní funkci rezervy. Každá laguna obsahuje výškově nastavitelný přepad, kterým se vypouští odsazená kalová voda. Dále je součástí každé laguny vjezd sloužící k odebrání vysušeného kalu pomocí strojních zařízení. Aby byl zajištěn maximální prostor pro zahušťování, navrhuje se hladina vody vždy na nejvyšší úroveň. Laguny mají dvojí funkci a to zahušťovací i odvodňovací. Zahuštěný kal na 1 - 2 % sušiny se napouští do nádrže laguny do výšky 0,6 - 1 m. Vysychání kalu probíhá přibližně 5 - 6 měsíců. Avšak laguny jsou navrhovány jako dvouleté, jelikož je nutné promrznutí kalu. Díky mrazu dojde k promrznutí a k rozpadu gelovité struktury zahuštěné vrstvy kalu. Vymrznutím kalu a následným rozmrazením dojde k lepšímu odvodnění a vysušení. Kalové laguny jsou spíše vhodné pro menší čistírny odpadních vod (o výkonu do 300 l/s⁻¹). Odvodněním na kalových lagunách lze dosáhnout 25 - 30 % sušiny v kalu. K vysoušení kalu dochází odpařováním. [3, 22, 27]



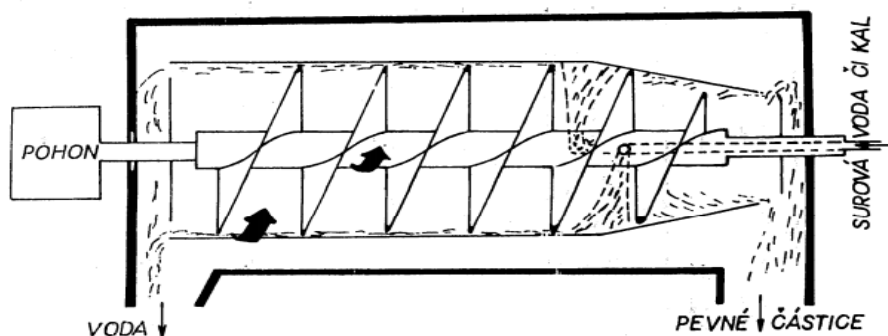
Obrázek 19: Kalová laguna. [22]

3.2 Mechanické způsoby odvodňování

K mechanickým patří odstředivky, filtrační zařízení, lisy různých konstrukcí, otáčivé vakuové filtry, flotační zařízení a mnoho dalších.

3.2.1 Odstředivka

K oddělení kalové vody od pevných částic dochází pomoci odstředivé síly. Koncentrace nerozpuštěných látek a jejich struktura rozhoduje o stupni odvodnění kalu. Mezi běžně užívané odstředivky patří dekantační odstředivky, jež jsou prostorově uspořádané souproutým nebo protiproutým tokem média. Kal je přiváděn do vnitřního rotačního bubnu odstředivky. Jeho otáčením a působením odstředivé síly dochází k usazování těžších částic kalu na povrch vnějšího bubnu, odkud jsou šnekovým dopravníkem posunovány do kuželové části bubnu. Odvodněný kal je dále vyhrnut do výsypní části odstředivky, a poté vypadává hrdlem výsypky do určeného prostoru pod odstředivkou. Přiváděním suspenze do bubnu dochází k vytlačování odstředěné kapaliny, která protéká přes odpadní otvor umístěný v čele bubnu. Tato kapalina se soustřeďuje ve sběrači a je následně odváděná potrubím pryč z odstředivky. [2, 28]



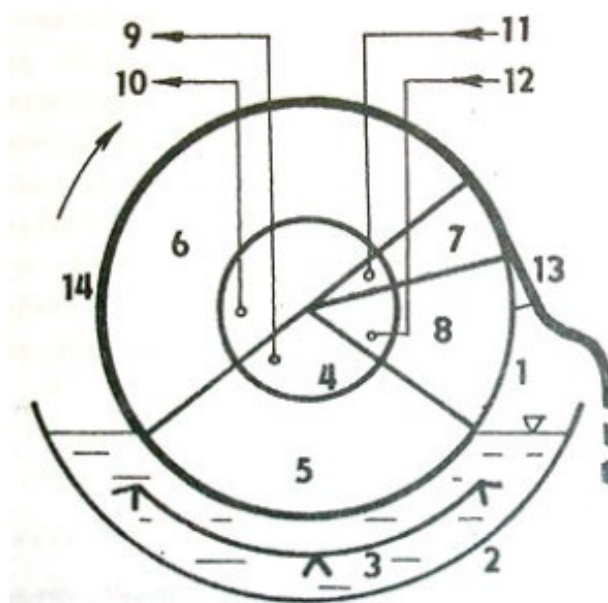
Obrázek 20: Schéma odstředivky. [23]

Hlavní část odstředivky je tvořena dvěma souosými kónicko-válcovými bubny, které se otáčejí stejným směrem, ale každý má jinou rychlost otáček. Vnitřní část je tvořena šnekovým dopravníkem a vnější část je plně opláštěná. Bubny jsou ustaveny na valivých ložiskách v ložiskovém stojanu a celá tato sestava je upevněna na základovém rámu. Součástí rámu je olejová nádrž a kompletní olejový systém sloužící k promazávání převodovky a valivých ložisek. Oba bubny jsou poháněny elektromotorem a diferenci otáček bubnů zajišťuje speciální převodovka. Na ovládacím pultu, který je součástí

zařizování, jsou umístěny prvky ovládání a ochrany. Vstupní kal je potřeba upravit, a proto se do něj dávkuje polymerní flokulanty. Výhodou odstředivek je, že zabírají relativně malý prostor. Nevýhodou je vysoká spotřeba energie a hlučnost. [3, 22]

3.2.2 Vakuový bubnový filtr

Komůrkové provedení je nejběžnější pro tento typ vakuových filtrů. Základ tvoří vodorovný válcový rotační buben s plnými čely. Děrovaný plech nebo síťové pletivo tvoří plášť bubnu. Na povrchu bubnu je navinuta nekonečná filtrační plachetka. Vnitřek bubnu tvoří řada komůrek, které jsou navzájem tlakově izolované. Otvor z nich vede do dutého hřídele sloužící pro přívod přtlaku nebo podtlaku. Pomalu otáčející se buben pracuje v rozsahu otáček 0,06 - 1,8 ot./min. Spodní část bubnu je zanořena do vany, ve které se nachází neodvodněný kal. Ve vaně se může nacházet míchadlo zajišťujícím homogenizaci kalu. Podtlakem je z vany nasáván kal, který se v horní části bubnu odvodňuje, také působením podtlaku. Naopak pomocí přtlaku dochází k odfuku koláče odvodněného kal s pomocí odřezávacího nože. [29]



Obrázek 21: Schéma bubnového vakuového filtru. [29]

1 - Buben, 2 - Vana, 3 - Míchadlo, 4 - Rozvodná komora na čelní straně bubnu, 5 - Pásmo tvorby koláče, 6 - Pásmo odvodňování koláče, 7 - Pásmo odfuku koláče, 8 - Klidové pásmo, 9 a 10 - Odvod filtrátu, 11 - Zavedení tlakového vzduchu, 12 - Zavedení atmosférického vzduchu, 13 - Snímací zařízení, 14 - Filtrační koláč

V poslední fázi jedné otáčky bubnu nastává klidová fáze, při níž dochází k regeneraci kalu při atmosférickém tlaku. K regeneraci se používá ostřík tlakovou vodou. Při odvodňování je dosažena tloušťka filtračního koláče 10 - 15 mm. Odvodnění dosahuje rozmezí 15 - 25 % sušiny kalu. Pokud chceme dosáhnout silnější a sušší koláč, je potřeba zvolit nižší rychlost otáček. [29]

Tabulka 5: Výsledná sušina po použití vakuového bubnového filtru pro jednotlivé druhy kalů. [23]

<i>Druh kalu</i>	<i>Dávka v % SL</i>		<i>Výkonnost (kg sušiny/m²h)</i>	<i>Sušina koláče (%)</i>
	<i>FeCl₃</i>	<i>CaO</i>		
<i>Primární</i>	2 - 4	7 - 11	30 - 40	26 - 32
<i>Surový</i>	3 - 6	13 - 19	20 - 30	23 - 27
<i>Anaerob. stabil.</i>	5 - 7	13,5 - 21	20 - 25	24 - 28

3.2.3 Kalolis

Jedná se o stojní zařízení, které pracuje ve třech cyklech. První fázi je plnění kalolisu nízkotlakým čerpadlem, ve druhé fázi dochází k plnění středotlakým čerpadlem a v poslední třetí fázi ke kompresi koláče vysokotlakým čerpadlem. Snahou zařízení je dosáhnout maximálně možné sušiny v pevné fázi, a zároveň nejvyššího stupně čistoty fáze kapalné. Působením vysokého tlaku dochází k zachycení filtračního koláče na plachetkách a přefiltrovaná voda odtéká drenážemi. Plachetky jsou tvořeny z filtračních materiálů přírodních (len, bavlna) nebo syntetických (polyethylen, polypropylen). Volba materiálu musí být taková, aby nedocházelo k přilnavosti filtračního koláče na filtrační látku. Pracovní prostor kalolisu tvoří jednotlivé komory filtračních desek, které jsou potažené plachetkami a tvoří tak drenážní systém. Na konci pracovního cyklu se kalolis otevře a pevný filtrační koláč je dopravován pásovým nebo šnekovým dopravníkem veden do kontejneru. Pro intenzivnější odvodnění kalu se mohou použít flokulační činidla popřípadě vápno, které zlepšuje odstranitelnost filtračního koláče z plachetky, ale naopak zhoršuje jakost filtrátu. Množství použitého flokulantu je pro každý druh jiné a stanovuje se experimentálně. U automatizovaných kalolisů je kal čerpán do filtrační komory za tlaku 0,3 - 0,5 MPa a k jeho dotlačení se využívá tlak v rozmezí hodnot 1 - 1,5 MPa. Nevýhodou tohoto typu kalolisů jsou vysoké pořizovací náklady. [3, 22, 28]

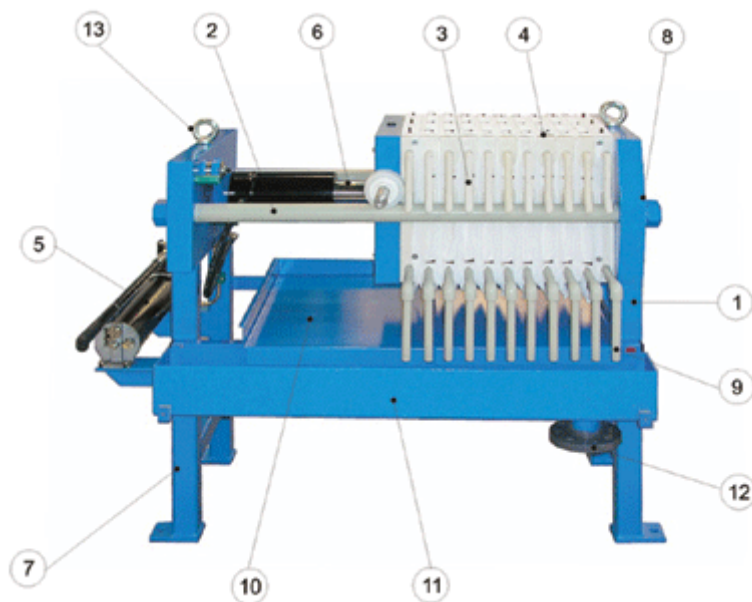
Tabulka 6: Výsledná sušina po použití kalolisu pro jednotlivé druhy kalů. [23]

<i>Druh kalu</i>	<i>Dávka v % SL</i>		<i>Výkonnost (kg sušiny/m²h)</i>	<i>Sušina koláče (%)</i>
	<i>FeCl₃</i>	<i>CaO</i>		
<i>Primární</i>	3 - 7	11 - 19	2 - 4	40 - 50
<i>Surový</i>	4 - 7	11 - 22,5	2 - 4	35 - 50
<i>Anaerob. stabil.</i>	6 - 10	15 - 30	1,5 - 3	33 - 38

➤ Z konstrukčního hlediska se kalolisy dělí na dva základní typy:

a) Komorový kalolis

Filtrace kalu na tomto typu zařízení probíhá stlačením filtračních desek, jež jsou obaleny filtrační tkaninou, která zachycuje pevné částice z kalu a kapalina je propouštěna dále. Propouštěná kapalina se dostává přes plachetku a drenáží filtrační desky je odváděna pryč. Následující filtrací se jsou další částice nabalovány na již zachycené a začíná se tvořit koláč. Pokračuje další vytěšňování kapaliny, dokud nevznikne kompaktní a homogenní filtrační koláč. Zvýšením plnicího tlaku se zamezí zanášení filtrační vrstvy a sníží se odpory filtrační vrstvy. [3]



Obrázek 22: Základní části kalolisu. [30]

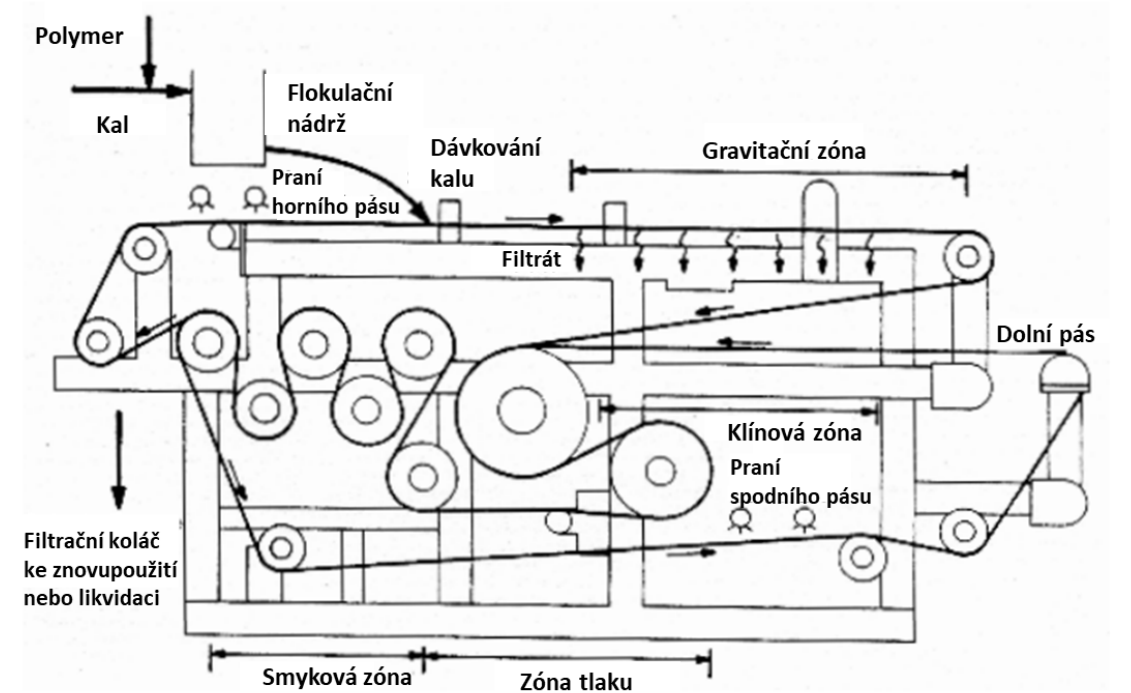
1 - Rám kalolisu, 2 - Svorník rámu, 3 - Filtrační deska, 4 - Filtrační plachetka, 5 - Hydraulická pumpa, 6 - Hydraulický válec, 7 - Noha kalolisu, 8 - Přívod suspenze k odvodnění, 9 - Výstup filtrátu, 10 - Okapová plata, 11 - Žlab pro sběr filtrátu, 12 - Příruba pro odvod filtrátu, 13 - Úchyty pro manipulaci

b) Membránový kalolis

Na rozdíl od komorového kalolisu je drenáž filtrační desky, sloužící k odvodu filtrátu, umístěna na membránách, které jsou pohyblivé. Membrány mají za úkol dotlačit nafilťovanou vrstvu a tímto způsobem odvodnit filtrační koláč. Plnění do pracovního prostoru je stejné jako u komorového kalolisu, s tím rozdílem, že po tlakové filtraci pokračuje ještě jedna fáze, kdy dochází ke stlačení filtračního koláče membránou. Jako pomocné tlakové médium k přitlačení membrán může být použita voda nebo vzduch. [3]

3.2.4 Sítópásový lis

Pásový filtrační lis je zařízení pro odvodňování s kontinuálním provozem. Základem jsou dva nekonečné pásy, které tvoří porézní tkanina neboli plachetka o šířce 0,75 - 2 m. Nejčastěji užívaným typem tkaniny je silonový materiál s rozptřením ok v počtu 14 ok na cm^2 . Vodnatý kal je přiváděn mezi pásy procházející soustavou napínacích a lisovacích válečků, při čemž dochází ke čtyřem procesům a to k homogenizaci, gravitačnímu odvodnění, nízkotlaké kompresi a vysokotlaké kompresi. Než kal vstoupí do lisovacího zařízení, tak je smíchán s flokulačním činidlem ve flokulační nádrži, aby byl lépe odvodnitelný. [26, 31]



Obrázek 23: Schéma sítópásového lisu. (převzato a upraveno) [26]

Takto upravený kal je přiváděn do homogenizační části a následně do gravitační části pásu přes přírodní žlab. V této fázi se využívá pouze jeden pás a dochází k odloučení volné vody. Další stlačení nastává v nízkotlaké kompresy, kdy dochází k přitlačování kalu na pásu dalším pásem. V poslední zóně vstupuje kal do pásma lisovacích válců a dochází k vysokotlaké kompresi. V tomto pásmu je dosaženo tlaku okolo 3 MPa. U válců se změní směr a tím dochází k odstranění přebytečné vody z kalu. Vzniklý filtrační koláč odpadáva na konci lisu do určené nádoby. Je důležité, aby následovala regenerace pásů, která se provádí ostřikem tlakovou vodou při tlaku 0,5 MPa. Mezi hlavní výhody patří nízké investiční a provozní náklady, nízké energetické nároky a snadná údržba. Nevýhodami jsou citlivost na vstupní složení suspenze, hydraulicky omezený výkon a vyšší zápachový potenciál. Obsah sušiny přivedeného kalu by neměl být menší než 3 %. [26, 31]

Tabulka 7: Výsledná sušina po použití sítopásového lisu pro jednotlivé druhy kalů. [23]

<i>Druh kalu</i>	<i>Koncentrace kalu (% sušiny)</i>	<i>Dávka koagulantu (kg/kg sušiny)</i>	<i>Výkonnost (kg sušiny/m² h)</i>	<i>Sušina koláče (%)</i>
<i>Primární</i>	5 - 10	0,9 - 2	250 - 400	27 - 35
<i>Surový</i>	3,5 - 8	1,5 - 5	130 - 300	21 - 28
<i>Anaerob. stabil.</i>	1,5 - 3,5	2 - 5	80 - 150	15 - 25

3.2.5 Odvodňovací vaky

Jedná se o jednoduché zařízení sloužící k odvodnění kalů nepřesahující produkci kalů 200 kg/den⁻¹. Toto zařízení se většinou využívá v menších a středních čistírnách odpadních vod. Než dojde k plnění odvodňovacích vaků kalem, je nutné ho nejprve předupravit přidávkem polymerních flokulantů. Takto upravený kal je napouštěn do vaků, které jsou tvořeny hydrofobním materiálem (polypropylen). Plnění vaků je možné provést ručně nebo za užití automatiky. Po naplnění vaku započne voda protékat, a zároveň dochází k dalšímu plnění kalem. V naplněném vaku začne působit přetlak a gravitace, tím nastává další odvodnění. V laboratoři bylo prováděno testování na malých pokusných vacích naplněných flokulantem upraveným kalem. Za několik minut došlo k zahuštění z 2,8 na 10 % sušiny. Po měsíčním vysoušení bylo dosaženo 60 % sušiny v kalu. [22, 28]

Tabulka 8: Výsledná sušina po použití odvodňovacího vaku pro jednotlivé druhy kalů. [23]

<i>Druh kalu</i>	<i>Vstup (konc. sušiny v %)</i>	<i>Po odvodnění (konc. sušiny v %)</i>
<i>Anaerob. stabil. primární</i>	6 - 8	17 - 22
<i>Anaerob. stabil. surový</i>	3,5 - 6	3 - 16

Odvodňování za těchto podmínek: 5 - 15 m³ kalu na 1 cyklus, délka cyklu 6 - 24 hod.

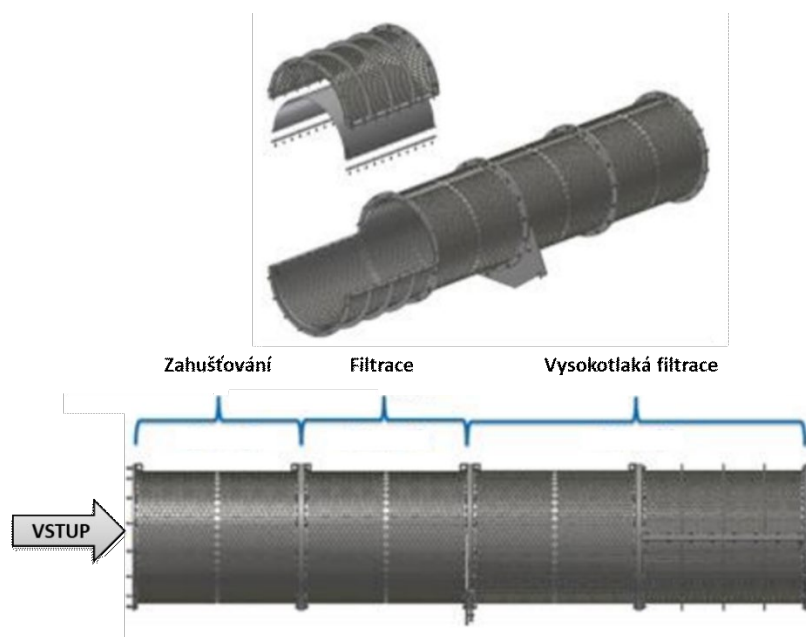
Odvodněním je dosaženo obsahu sušiny v kalu na 15 - 20 % a to během jednoho až dvou dnů. V další fázi odvodněného kalu dochází k sušení. Vak obsahující odvodněný kal se zašije speciálním strojkem a ponechá se samovolnému vysoušení. Vysoušení může trvat jeden až dva měsíce a lze jím dosáhnout až na obsah sušiny 50 %. Délka vysoušení se odvíjí od klimatických podmínek. Vaky je možné skladovat venku, jelikož speciální porézní hydrofobní tkanina neumožní průniku dešťové vody dovnitř, ale zároveň může docházet k odpaření přebytečné vody z kalu. Výhody tohoto způsobu odvodňování jsou nízké investiční náklady, snadná manipulace s vaky a jejich rychlá příprava pro provoz. [22, 28]



Obrázek 24: Odvodňovací vak. [22]

3.2.6 Šnekolis

Tyto šnekové lisy se využívají pro kontinuální provoz. Při průchodu kalu šnekovým zařízením se neustále zvyšuje tlak a tím dochází k odstranění přebytečné vody z kalu. Úniku kalové vody s tuhým podílem je zabráněno sítí, kterým je pokrytý šnek lisu. Šnekový lis je zcela uzavřen v krytu, aby se minimalizoval únik aerosolů a zápachu. Šnekový šroub nemá stejný poloměr po celé délce, má kónický tvar. Na začátku v místě plnění je šroub užší než na konci v přepadové zóně. Zvětšování průměru šroubu po jeho délce má za následek klesání objemu kalu ve směru toku. Se zvětšujícím se průměrem těla šneku se zároveň zvyšuje tlak a dochází k odvodnění přebytečné vody v kalu. Než kal vstoupí do šnekolisu je potřeba ho ve flokulační nádrži promíchat s flokulačními činidly, aby se stal lépe odvodnitelným. [3, 32]



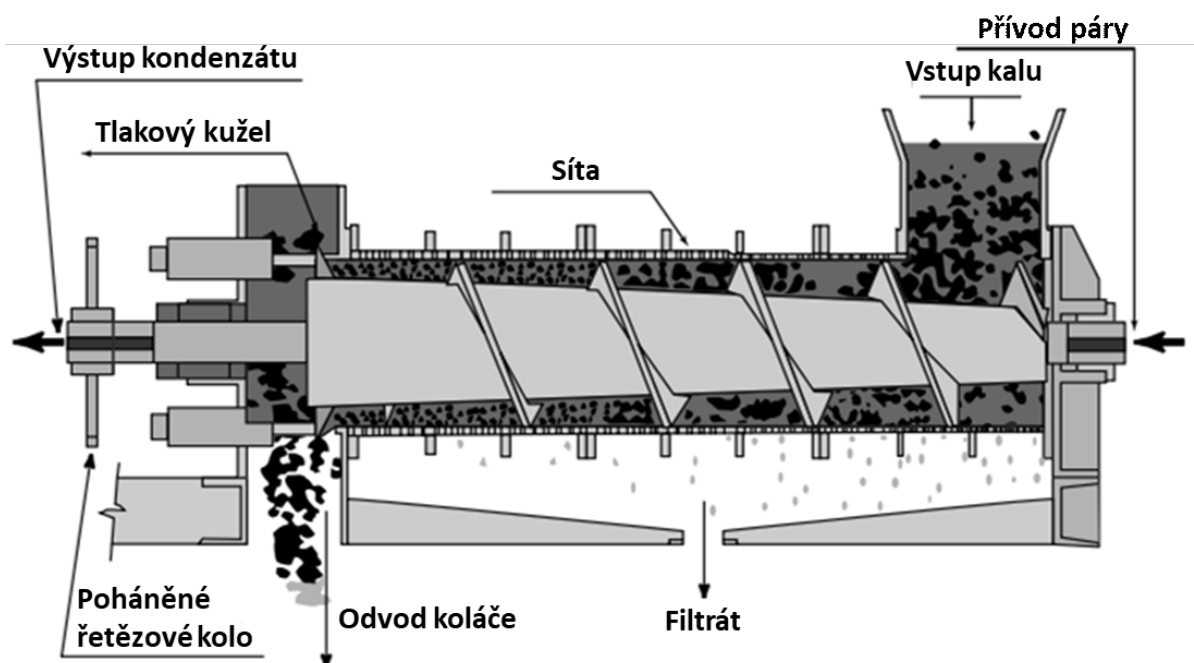
Obrázek 25: Schéma filtračního bubnu. (převzato a upraveno) [33]

Rychlost šneku se nastavuje automaticky podle fluktuace posuvu, aby se zajistil konstantní tok posuvu a současně byl poskytnut optimální výkon, pokud jde o obsah sušiny kalu a rychlost zachycení tuhých částic, a to i během promývacích sekvencí. Filtrační buben se dělí na několik oddělených sekcí. V těchto částech plní funkci zahuštění, filtrace a vysokotlaké filtrace. Každou sekci tvoří perforovaný nosný plech a nerezové filtrační síto. Vysokotlaká lisovací část je oddělena a provedena ze dvou částí z důvodu snadné a rychlé údržby. Na šnekovnici je zabudována výměnná stírací vložka z polyuretanu. [33]



Obrázek 26: Znázornění výměnné polyuretanové stírací vložky (oranžový segment). [33]

Vyvločovaný produkt se přivádí do šnekového lisu, kde dochází k jeho zahušťování a postupnému stlačování po celé délce zařízení. Při nízké rychlosti (0,1 - 1 ot/min) je kal ve stroji posunován šnekovým dopravníkem a kuželový šroub hřídele zajišťuje postupné zvyšování tlaku. Pneumatické protitlakové zařízení zabraňuje příliš rychlému pohybu kalu, jeho mačkání a tím zajistí vyšší obsah sušiny v kalu. Šroub se otáčí nepřetržitou rychlostí, čímž se udržuje konstantní přírodní tlak. Duální čistící systém zajišťuje optimalizaci a snižuje spotřebu vody až o 50 %. Samočistící struktura odvodňovacího stroje zamezuje ucpání filtračních štěrbin, díky tomu má šnekolis zvýšenou odolnost vůči mastnému kalu a dokáže zpracovat i olejový kal nebo kal z ropy. [33, 34]



Obrázek 27: Schéma horizontálního šnekolisu. (převzato a upraveno) [26]

Mezi výhody šnekolisů patří menší nároky na prostor, relativně nízké pořizovací náklady, nízká spotřeba energie, uzavřený systém minimalizuje emise zápachu a zajišťuje čistotu, nízké emise hluku (méně než 60 dB), vícestupňové odvodňovací zóny, snadná údržba, optimální míchání flokulantu snižuje spotřebu polymerů a energie. Toto zařízení se většinou umísťuje do malých čistíren odpadních vod. Hydraulický výkon se pohybuje okolo 10 m³/h s kapacitou pevných látek cca 275 kg/h. Podíl sušiny v kalu 20 - 25 % lze získat dávkováním polymeru v množství 4 - 6 g/kg. Úspěšnost zachycení pevných látek dosahuje 95 %. Šnekolis můžeme rozdělit podle sklonu osy šroubu na horizontální nebo nakloněný. [26]

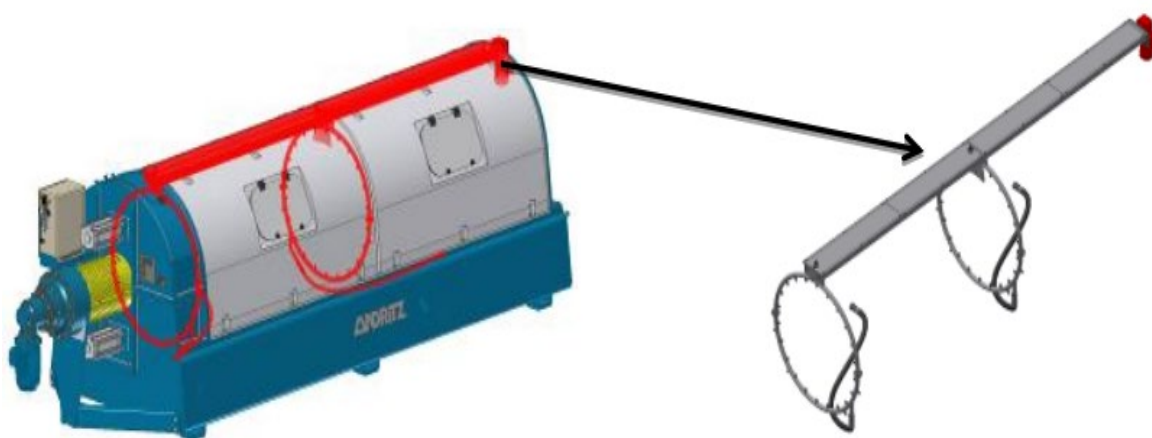


Obrázek 28: Filtrační zařízení šnekolisu. [32]



Obrázek 29: Opad kalového koláče po odvodnění. [32]

Součástí šnekolisu je pomaluběžná šroubová hřídel, která je vyrobená z nerezové oceli. Konstrukce kuželového tvaru má konstantní stoupání šneku, což zajistí postupné lisování kalu. Rychlost otáčení hřídele je řízena automaticky podle tlaku vznikajícího na stupu kalu do šnekolisu. K čištění vnitřní strany koše slouží lopatka šroubové hřídele, která je opatřena polyuretanovou škrabkou. V bubnu šnekolisu je nainstalován systém prání s posuvnými rampami, které jsou opatřeny tryskami. Ve zvoleném časovém intervalu dochází k ostříku filtrační a lisovací zóny bubnu, který probíhá automaticky. Tento systém je mnohem účinnější v porovnání čistícím systémem, kdy jsou trysky zabudovány pevně na rámu a dochází k otáčení bubnu, čím je prováděn ostřík zanesených zón bubnu. [33, 34]



Obrázek 30: Ostříkový systém šnekolisu. [33]

Následující tabulka zobrazuje porovnání mezi jednotlivými zařízeními sloužícími pro odvodnění kalu v závislosti na potřebném výkonu pro svou činnost. Hodnoty jsou vztaženy na 1 tunu sušiny kalu, který byl anaerobně stabilizován.

Tabulka 9: Porovnání odvodňovacích zařízení dle potřebného výkonu. (převzato a upraveno) [23]

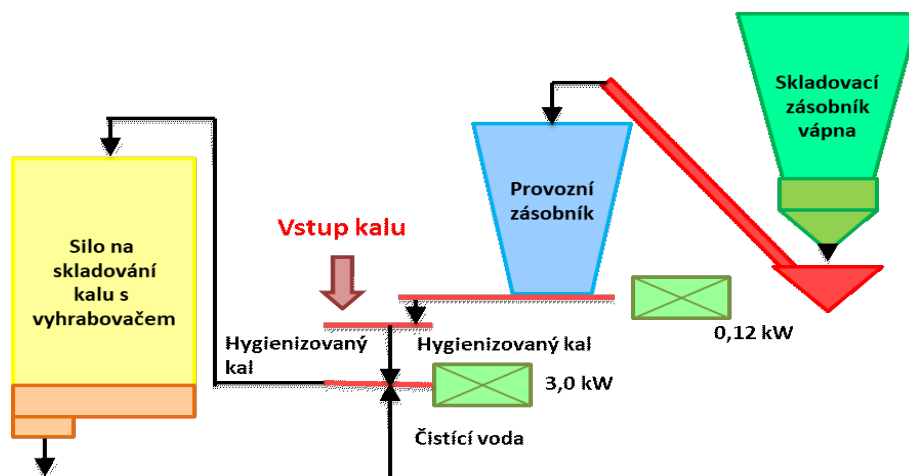
<i>Typ odvodňovacího zařízení</i>	<i>Výkon (kW/t)</i>	<i>Výsledná sušina (%)</i>
<i>Sítopásový lis</i>	5 - 20	15 - 25
<i>Kalolis</i>	15 - 40	33 - 38
<i>Odstředivka</i>	30 - 60	25 - 35
<i>Vakuový filtr</i>	50 - 150	24 - 28
<i>Šnekolis</i>	5	15 - 22

3.3 Metody hygienizace kalů

Hygienizace kalu bývá jedním z hlavních požadavků na další zpracování a využívání kalů. Obecně za hygienizaci považujeme takové metody, při kterých dojde k usmrcení mikroorganismů. Pokud by nedošlo k hygienizaci a kal byl využíván v zemědělství, mohlo by dojít mikrobiologické kontaminaci půdy. Metody hygienického zabezpečení kalu můžeme rozdělit do tří skupin a to na chemické, fyzikální a biotechnologické. Hygienizace kalu probíhá v různých etapách technologické linky zpracování kalů. Může probíhat ve fázi úpravy a zpracování kalů, kdy dochází současně ke stabilizaci i hygienizaci kalů. Další možností je etapa předúpravy kalů, ve které bude hygienizace probíhat před stabilizací kalů. Poslední možností je zajištění hygienické nezávadnosti po stabilizaci kalů a to jejich následnou nebo dodatečnou úpravou. [3, 21, 35]

3.3.1 Chemické metody

Tyto metody zahrnují reakce s chemickými činidly, jako jsou například vápno nebo minerální kyseliny. V praxi je nejvíce využíváno pálené vápno (CaO), u kterého dochází k hygienizaci spojeným účinkem zvýšené teploty a hodnoty pH. Užitím vápna hašeného je zabezpečena hygienizace pouze zvýšenou hodnotou pH. Odvodněný kal je smíchán s páleným vápnem, které začne reagovat s přítomnou vodou, což se projeví zvýšením teploty až na 50 - 70 °C. Je důležité udržet hodnotu pH upraveného kalu na 12 a více po dobu minimálně 2 hodin. [2]



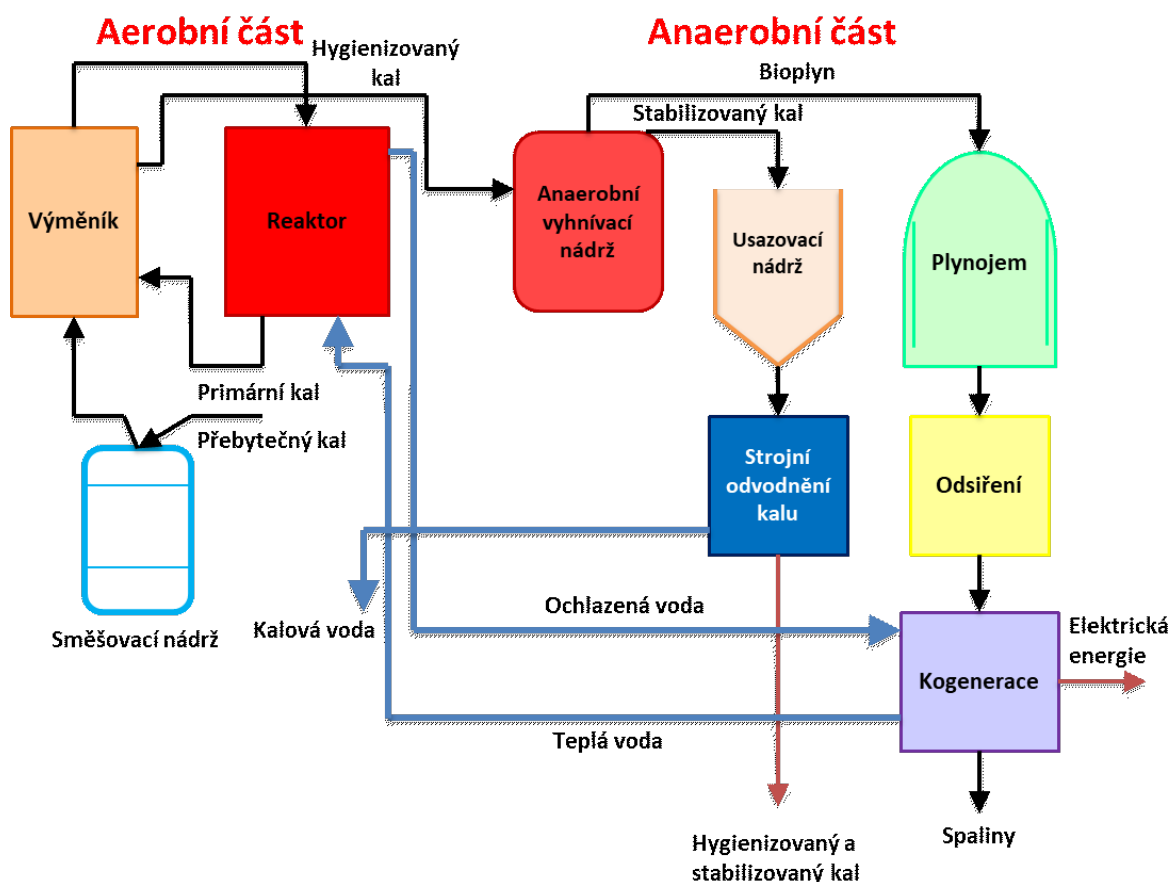
Obrázek 31: Technologické schéma chemické hygienizace kalu. (převzato a upraveno) [2]

3.3.2 Fyzikální metody

K nejčastěji využívaným fyzikálním metodám hygienizace kalu patří termická předúprava tekutého kalu, pasterizace a tepelné sušení.

1) Termická předúprava tekutého kalu

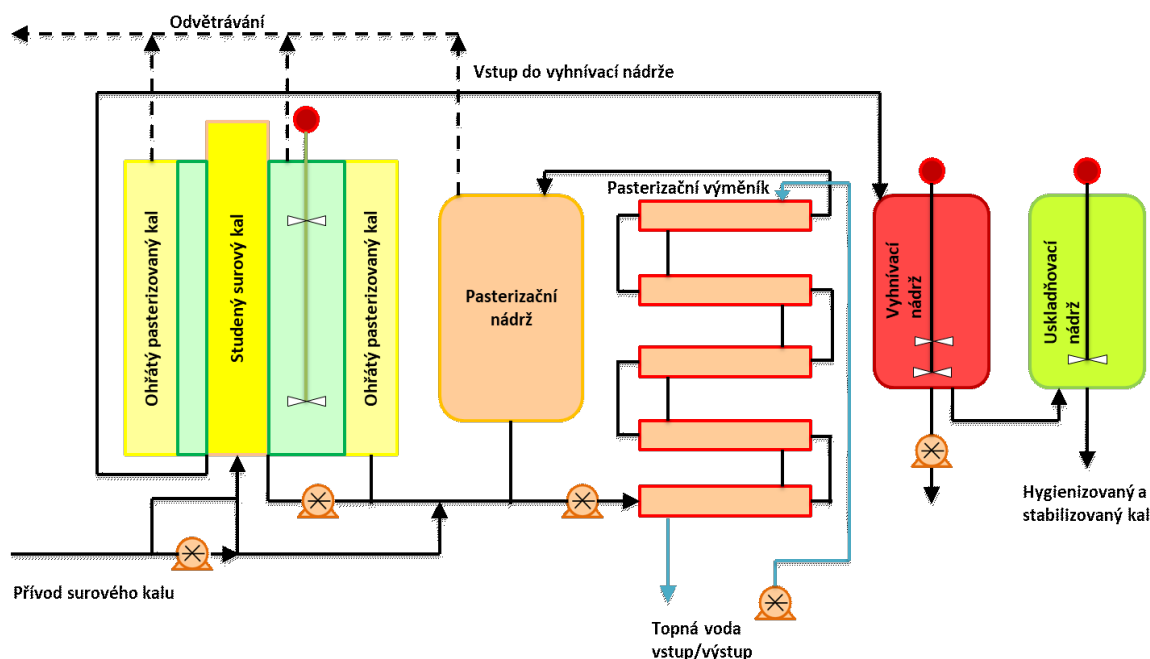
Tato metoda probíhá před mezofilní nebo termofilní anaerobní stabilizací. Doba trvání termické předúpravy je minimálně 30 minut při teplotě 70 °C. Příkladem termické předúpravy je metoda AEROTHERM. Tato metoda je kombinací aerotermní hygienizace a částečné stabilizace kalu. Neodvodněný kal s obsahem sušiny 5 - 6 % vstupuje do tepelného výměníku a po zahřátí postupuje do aerotermního reaktoru. V reaktoru dochází k exotermickému rozkladu. Pomocí topné vody dochází k zahřátí kalu na teplotu v rozmezí 60 - 65 °C. Kal pokračuje do tepelného výměníku, kde se zchladí a následuje jeho stabilizace ve vyhnívacích nádržích. Před vstupem do vyhnívací nádrže je rozloženo přibližně 5 - 10 % organického znečištění. [3, 36]



Obrázek 32: Technologické schéma metody AEROTHERM. (převzato a upraveno) [2]

2) Pasterizace

Při pasterizaci dochází k zahřátí kalu na teplotu v rozmezí 64 - 70 °C na velmi krátkou dobu, přibližně 30 minut. Při optimální teplotě dojde k usmrcení patogenních mikroorganismů. Následně probíhá anaerobní stabilizace ve vyhnívací nádrži. Metodou pasterizace dochází ke zlepšení stabilizace kalu a také se zlepši jeho odvodňovací vlastnosti. Celý proces pasterizace probíhá ve třech na sebe navazujících zařízeních. Jedná se o rekuperační výměník (kal/kal), pasterizační výměník (voda/kal) a pasterizační nádrž. Kal, který je již hygienicky zabezpečen se využívá k ohřátí čerstvého vstupního kalu, jenž je čerpán do vnitřní komory rekuperačního výměníku. Pasterizovaný kal je čerpán z pasterizační nádrže a prochází vnější komorou rekuperačního výměníku. Nový kal se tímto způsobem ohřeje a pasterizovaný kal se ochladí. Ochlazený kal dále pokračuje do vyhnívací nádrže, kde dochází ke stabilizaci kalu. Mezi výhody pasterizace patří prostorová nenáročnost zařízení, snadná obsluha, nízká spotřeba energie díky rekuperačního výměníku, vysoká míra hygienizace. Topná voda, která je přiváděna do pasterizačního výměníku voda/kal, slouží k ohřevu přiváděného kalu. Pokud je produkován bioplyn procesem methanizace, tak je celý proces dotován vlastní energií vyrobenou z bioplynu v kogenerační jednotce. Z tohoto důvodu se sníží spotřeba energie dodávána z vnějšku. [37]



Obrázek 33: Technologické schéma procesu pasterizace. (převzato a upraveno) [38]

Tabulka 10: Porovnání metod hygienizace kalu vápněním a pasterizací. (převzato a upraveno) [39]

<i>Metoda</i>	<i>Výhody</i>	<i>Nevýhody</i>
<i>Vápnění vyhnílého kalu</i>	<ul style="list-style-type: none"> • nízká investice • příznivý vliv na kyselou půdu 	<ul style="list-style-type: none"> • emise amoniaku do ovzduší • snížená hnojivá schopnost - úbytek dusíku
<i>Pasterizace vyhnílého kalu</i>	<ul style="list-style-type: none"> • vysoký stupeň hygienizace • při odvodnění vyšší sušina kalu • nízká energetická náročnost 	<ul style="list-style-type: none"> • zvýšená teplota stabilizace kalu před odvodněním - vyšší teplota odvodněného kalu

3) Tepelné sušení

Při sušení kalu se využívá teplota nad 80 °C, která je udržována po dobu 10 minut. Po tomto procesu musí obsah vody v kalu klesnout pod 10 %. Podmínkami tohoto procesu je, aby byl sušený kal ve formě pelet či granulí, z důvodu zbavení prachových částic. Za prachové částice se považují ty částice, které jsou menší než 0,5 mm a jejich obsah v kalu by měl být pod 1 %. Takto upravený kal zaručuje snadnou manipulaci, skladování a bezpečnost. Aby nedocházelo ke kontaminaci ovzduší mikroorganismy, budují se uzavřené sušící systémy zabraňující úniku částic. [3]

3.3.3 Biotechnologické metody

V tomto případě se jedná o metody stabilizace kalu. Podle toho jaké byly zvolené podmínky stabilizace, bude dosažen stupeň hygienického zabezpečení kalu. Zejména se jedná o tyto stabilizační metody: aerobní stabilizace kalu, termofilní aerobní stabilizace kalu, mezofilní nebo termofilní anaerobní stabilizace kalu. Tyto metody stabilizace byly již popsány v kapitole 2.7. Kromě těchto metod můžeme také kal dlouhodobě skladovat v tekutém stavu, což se nazývá jako studené vyhnívání. Tento typ vyhnívání se používá proto, aby došlo k vyrovnání složení kalu. Skladováním dochází k poklesu organické složky kalu a klesá tak jeho hnojivá hodnota. Dlouhodobým skladováním dochází v kalu k poklesu množství virů a bakterií. Nepříznivý vliv na proces má chladné podnebí. [3]

4 ODVODŇOVÁNÍ KALŮ NA ČOV BRUŠPERK

Praktickou část této diplomové práce jsem vypracovala na základě technické zprávy a provozního řádu ČOV Brušperk, poskytnuté technickým pracovníkem ČOV Brušperk. Čistírna odpadních vod Brušperk byla vybudována v roce 2004. Tato čistírna se nachází v areálu na pozemcích s číslem parcel 3334 a 3335 v k.ú. ČOV Brušperk je ve vlastnictví akciové společnosti SmVaK Ostrava. Vlastníkem příjezdové cesty k čistírně je město Brušperk. ČOV je dimenzována pro vyčištění odpadní vody pro 6 209 EO (ekvivalentních obyvatel) s ročním nátokem odpadní vody 459 749 m³ (za rok 2020).

Čistírna odpadních vod zajiřtuje čiřtění odpadních vod ze spádových oblastí Brušperk, Hukvaldy a Fryčovice. Kanalizace vybudovaná ve městě je jednotná a slouží k odvodu splařkových i deřřových vod. V centrální části města zůstane stávající kanalizace jednotná a na okrajových částech města jsou nově vybudované kanalizační úseky navržené jako stoky splařkové soustavy oddílného kanalizačního systému. Do kanalizace vstupují především splařkové odpadní vody od obyvatelstva a z městské vybavenosti bez průmyslových odpadních vod. Jedná se o mechanicko-biologickou ČOV s technologií dlouhodobé aktivace s následnou nitrifikací a denitrifikací a oddělenou regenerací kalu (systém RDN), s kalovým hospodářstvím a chemickým srážením fosforu. Celá ČOV je plně automatizována a řízena řídicím systémem Simatic S7 s přenosem na dispečink ČOV Frýdek-Místek.

Přitékající splařkové vody na čistírnu obsahují řadu odpadních látek. Pokud by se tyto vody vypouřřely do recipientu, aniž by prošly procesem čiřtění, způsobili by značné znečiřtění povrchových vod, což by se mohlo projevit zhorřením jejich kvality a znemožněním jejich dalšího využití. Podle měrné hmotnosti látek je lze rozdělit na látky lehčí než voda, což jsou látky plovoucí, látky s obdobnou hmotností jako voda neboli látky unášené a látky těžší než voda představující látky sunuté. Z fyzikálního a chemického hlediska se jedná především o anorganické a organické znečiřtění, které se dále dělí na nerozpuřřené a rozpuřřené látky. Anorganické nerozpuřřené látky ve formě šterku, písku či umělých hmot (a jiné) se mohou ukládat v objektech čistírny nebo značně pořškodit její zařízení. Naopak u organických nerozpuřřených látek dochází k zahnívání a tím zhoršení kvality odpadní vody. Větřšina těchto nerozpuřřených látek je zachycena zařízením mechanické části ČOV. Pokud avřak projdou i přes hrubé předčiřtění ČOV, tak

jsou zachyceny v biologickém stupni ČOV. Anorganické rozpuštěné látky se na čistírně vyskytují především ve formě solí a většinou projdou čistírenským procesem beze změny, jelikož je nelze zachytit ani v mechanické ani v biologické části čistírny. Naštěstí u běžných koncentrací anorganických rozpuštěných látek nedochází k významnému zhoršení kvality povrchových vod. Výjimku tvoří amonné ionty a fosforečnany. Zhruba 70 % všech organických látek tvoří organické rozpuštěné látky a na ty nerozpuštěné organické látky připadá zbývajících 30 %. Jelikož většinu organického znečištění tvoří právě rozpuštěné látky, je rozhodující částí čistícího procesu biologický stupeň.

Část organických látek je rozložena biologicky a představuje hodnotu BSK_5 . Pokud nelze zbývajícím organické znečištění rozložit biologicky, je možné rozložit je chemicky v procesu oxidace. Tyto chemicky rozložitelné látky zahrnuje hodnota $CHSK_{Cr}$. Poměr mezi chemickou spotřebou kyslíku a biochemickou spotřebou kyslíku je v přítékající vodě 2/1. Ve vyčištěné vodě se tento poměr $CHSK_{Cr}/BSK_5$ pohybuje v rozmezí 4/1 - 6/1, což je způsobeno odstraněním biologicky rozložitelných látek v procesu čištění odpadních vod.



Obrázek 34: Čistírna odpadních vod Brušperk. [40]

Tabulka 11: Kapacita ČOV Brušperk.

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
Q_{MIN}	831,9	m ³ /d
	34,7	m ³ /h
	9,6	l/s
Q_{24}	1386,4	m ³ /d
	57,8	m ³ /h
	16,0	l/s
Q_d	1941	m ³ /d
	80,9	m ³ /h
	22,5	l/s
Q_{MAX}	155,3	m ³ /h
	43,1	l/s
Q_{krit}	788,4	m ³ /h
	219,0	l/s
$Q_{čerp}$	90,0	m ³ /h
	25,0	l/s

Legenda:

Q_{MIN}	<i>Minimální denní průtok</i>
Q_{24}	<i>Průměrný denní průtok</i>
Q_d	<i>Denní průtok</i>
Q_{MAX}	<i>Maximální denní průtok</i>
Q_{krit}	<i>Kritický průtok</i>
$Q_{čerp}$	<i>Čerpaný průtok</i>

4.1 Lapák šterku, vstupní čerpací stanice a dešťová zdrž

Splaškové vody přitečou kanalizací do lapáku šterku. V období jarních měsíců a přívalových dešťů byla stávající kanalizace a čerpací stanice (ČS) zanášena šterkem a z toho důvodu byl navržen objekt lapák šterku. Lapák šterku je prohloubená jímka, ve které je zachycen šterk, aby bylo zabráněno jeho mísení s nátokem odpadní vody na ČS čistírny nebo na dešťovou zdrž. Zachycený šterk je následně odtěžen drapákem šterku do přistaveného kontejneru o objemu cca 3 m³, který je po naplnění odvážen na skládku.

Dešťová zdrž (DZ) o objemu 136 m³ byla postavena pro akumulaci dešťových vod a pro zbývající hromadění dešťových vod v celkovém objemu 75,8 m³ se využívá úsek kmenové stoky před napojením na čistírnu. Celková délka úseku činí 427 m s profilem stoky DN 600. Dešťová zdrž o objemu 136 m³ je navržena jako podélná průtočná. Vyplachovací vanou se zajišťuje čištění dešťové zdrže. Pokud je potřeba DZ vyčistit nebo provést údržbu, je možné nechat ji obtékat. Po naplnění vyplachovací vany v dešťové zdrži vodou, je do vyplachovací vany přivedeno samostatné potrubí provozní vody. Za dešťů a při zvýšeném průtoku byla DZ plná a docházelo ke zvýšenému přísunu plovoucích a unášených nečistot. Jednalo se o usazeniny z kanalizace, které způsobovaly ucpání čerpadla ve vstupní ČS. Z tohoto důvodu byl mezi prostorem lapáku šterku a odtokem na ČS nainstalován komplet strojně stíraných česlí s následným zpracováním shrabků lisem. Po slisování jsou shrabky vynášeny šnekovým dopravníkem do přistaveného kontejneru o objemu cca 3 m³, který je po naplnění odvážen na skládku. Aby nedocházelo k ulehávání usazenin v nátokovém kanálu umístěném před česlemi, je tento kanál vybaven provzdušňovací trubicí, která je kotvena ke dnu kynety a díky tomu je zajišťováno promíchávání média před vstupem na česle. Jedná se o hrubé česle s průlinami 10 mm.

Toto množství je měřeno měrným Parshallovým žlabem na odtoku, který dále pokračuje do lapáku písku. Čerpadlo s měničem je udržováno v chodu tak, aby při deštích nedocházelo k hydraulickému přetížení ČOV. Frekvenční měnič je možno přepojit pomocí řídicího systému automaticky na rezervní čerpadlo. Dopravní výška čerpadla dosahuje do výšky 6 m. Chod čerpadla je řízen od hladiny v sací jímce tak, aby nedocházelo k častému spínání čerpadla. Čerpadlo je napojeno na frekvenční měnič a intenzita čerpání je závislá na množství přitékající odpadní vody.

Odpadní voda je do hrubého předčištění přečerpána pomocí ponorného kalového čerpadla s polootevřeným dvoulopatkovým kolem. Toto čerpadlo je vhodné k čerpání mechanických nečistot, které se dostanou do vstupní čerpací jímky. V jímce jsou nainstalována čerpadla tři, jejichž výtlak je zaústěn do žlabu před česle. Pokud jsou v chodu obě biologické linky, pracují čerpadla v režimu 2 + 1 rezerva a dokáží na ČOV zajistit čerpané množství až na max. 28 l/s. Jeli v chodu pouze jedna biologická linka, čerpadla pracují souběžně v režimu 1 + 2 rezerva, při čemž na ČOV zajistí čerpané množství max. 14 l/s. Zvýšením přítoku a stoupáním hladiny dochází ke zvyšování otáček čerpadla až na maximum a to $Q_{\max} = Q_h = 28$ l/s. Objem vody převyšující přítok 28 l/s teče do DZ. Po splnění provozních podmínek je obsah DZ přečerpán do systému ČOV. Toto množství je měřeno pomocí Parshallova žlabu, který je umístěn na odtoku do lapáku písku. Aby nedocházelo při deštích k hydraulickému přetížení čistírny, je čerpadlo s frekvenčním měničem udržováno v chodu. Pomocí řídicího systému je možné měnič automaticky přepojit na rezervní čerpadlo. Přes frekvenční měnič je zapojeno pouze jedno čerpadlo.

Tabulka 12: Provozní parametry vstupní čerpací stanice.

Parametr	Hodnota	Jednotka
$Q_{\text{čerp}}$ - čerpané množství čerpadlem	14	l/s
Dopravní výška čerpadla	6	m
Počet instalovaných čerpadel	3	ks
Počet provozních čerpadel	2 + 1	ks

Mechanické předčištění je zajištěno jemnými mechanicky stíranými česlemi s pružinami 6 mm a vertikálním lapákem písku. Na obtoku jsou umístěny ruční hrubé nerezové česle s pružinami 20 mm, které slouží k zachycení hrubých nečistot. Pokud dojde k poruše strojně stíraných česlí nebo výpadku elektrické energie, zavřou se ruční stavítka a splašková voda obtéká přes ruční česle. Shrabky, které se zachytí, jsou odvodňovány v lisu na shrabky s nainstalovaným promýváním. Přívod promývací a ostříkové vody je vybaven elektromagnetickými ventily. Hygienizace je zabezpečena vápněním, jež provádí obsluha. Pokud je kontejner již plný, je odvážen na skládku. Elektrický rozvaděč sloužící pro automatické ovládání chodu česlí, rotačního kartáče a lisu na shrabky, pracuje na principu časovém a hladinovém od ponorného spínače. Směs písku s vodou je z vertikálního lapáku písku těžena nerezovou mamutkou do separátoru písku. V separátoru dochází k oddělení

odpadní vody od písku. Písek je následně vynášen šnekovým dopravníkem s nastavitelnou časovou periodou do přistaveného kontejneru. V místnosti se nachází jeden kontejner, který slouží pro společné plnění shrabků i písku. Obsluha ručně zajistí s užitím lopaty rovnoměrné rozložení shrabků a písku v kontejneru. Po naplnění je na určitou dobu zastaven lis na shrabky i separátor písku a obsluha provede výměnu za kontejner prázdný.

Ultrazvukový hladinoměr automaticky ovládá čerpadla podle hladin v sací jímce. Čerpadla je možno rovněž ovládat ručně (po odblokování) přímo z místa z ovládací skříňky. V případě opravy nebo údržby, je možné čerpadla vyzdvihnout pomocí kočky s ručním řetězovým kladkostrojem, která je nainstalována na nosníku. Výtlačky každého čerpadla jsou samostatně zaústěny do žlabu před česle. Případné plovoucí nečistoty na hladině jsou periodicky odčerpávány (cca 1x denně). Čerpadla jsou vybavena čidly průsaku a tepelnými ochranami, které zablokují provoz čerpadla v případě poruchy, kdy dojde k automatickému zapnutí náhradní pumpy (včetně přepojení frekvenčního měniče). V případě poruchy ultrazvukové sondy nebo ručního ovládání je v jímce instalován plovákový spínač na úrovni minimální hladiny a na maximální havarijní hladině. Přístup k čerpadlům do čerpací stanice je přes jednotlivé poklopy ve stropě jímky. Přístup do čerpací jímky je přes poklop po stupadlech, pod kterým je na držadle umístěno ultrazvukové čidlo.

4.2 Biologické čištění OV

V procesu biologického čištění se do odpadní vody přivádí kyslík aeračním zařízením a současně dochází k promíchávání, což slouží k zajištění dostatku kyslíku pro bakterie rozkládající organické znečištění. K promíchávání dochází z důvodu zamezení usazování bakterií na dně, aby nedocházelo k jejich zahnívání a odumírání. Bakterie se množí a vytvářejí tzv. aktivovaný kal, což je shluk bakterií do tvaru vloček. Odpadní voda na čistírnu přitéká neustále, a proto je potřeba část kalu odstraňovat jako kal přebytečný.

V procesu biologického čištění nedochází k rozkladu pouze organických látek, ale také k rozkladu dusíkatých organických sloučenin. V první fázi dochází při hydrolýze k uvolňování amoniaku (NH_4^+), který je hlídanou složkou odpadní vody a musí u něj být dodrženy přípustné limity při vypouštění vyčištěných vod. V procesu nitrifikace dochází k biologické oxidaci amoniaku za vzniku méně nebezpečných dusičnanů (NO_3^-). Ani

dusičnany nejsou žádoucí ve vyčištěné vodě, a proto procesem denitrifikace dochází k jejich redukci za vzniku neškodného plynného dusíku (N_2), který se z vody uvolňuje a odchází do atmosféry. Při rozkladu organických látek a při procesu nitrifikace je nutné, aby proces probíhal za přítomnosti kyslíku. Zatímco denitrifikace probíhá v anoxické zóně (konc. kyslíku do 0,5 mg/l) a to z toho důvodu, že denitrifikační bakterie využívají jako akceptor elektronu dusík místo kyslíku a tím se odstraní organické látky i dusičnany.

I když jsou dusičnany obsažené ve vodě méně toxické než amoniak, jsou také limitovaným faktorem vyčištěné vody, jelikož dusičnany slouží rostlinám jako zdroj dusíku a dochází k jejich nárůstu. Pokud je nárůst velký, začne se tvořit druhotné znečištění vod tzv. eutrofizací způsobenou převážně řasami. Kromě vzniku eutrofizace, mohou vyšší koncentrace dusičnanů způsobit provozní potíže ČOV a v důsledku i zhoršení kvality vyčištěné vody i v ostatních ukazatelích. Především se může jednat o neřízenou denitrifikaci v dosazovacích nádržích. Kal, který sedimentuje na dně nádrže, rychle vyčerpá rozpuštěný kyslík ze svého okolí a při jeho nedostatku ho bakterie nahrazují dusičnany z vyčištěné vody. Spotřebou dusičnanů dochází k jejich redukci na plynný dusík uvolňující se v mikrobublinách a zachycující se ve vločkách kalu a tím dochází k vynášení kalu na hladinu dosazovací nádrže. Vyflotovaný kal zde může zahnívat nebo částečně unikat do vyčištěné vody. Může tak docházet k druhotnému zhoršení kvality vyčištěné vody, což se projeví ve sledovaných ukazatelích BSK_5 , $CHSK_{Cr}$, NL a P_{celk} . Čím vyšší je koncentrace BSK_5 , tím dochází intenzivněji k biologickému rozkladu organických látek a úměrně tomu i spotřeba dusičnanů.

V procesu čištění je také začleněna regenerace kalu. Vratný kal, který je odčerpáván ze dna dosazovací nádrže, nejprve vstupuje do regenerační nádrže, které není v bezprostředním styku s nátokem odpadní vody. V regenerační nádrži dochází k jeho provzdušňování a rozkladu zbytků organického znečištění. Takto zregenerovaný kal se přivádí zpět do denitrifikace, kde se mísí s odpadní vodou. V regeneraci je množství vratného kalu asi dvojnásobné, jelikož v denitrifikaci a nitrifikaci je kal naředen přítokem odpaní vody, což snižuje jeho koncentraci. Regenerací se celkově zvyšuje zásoba kalu v aktivaci a tím se dosáhne vyššího stáří kalu potřebného pro nitrifikaci, aniž by bylo nutné zvyšovat objem aktivační nádrže. V aktivační nádrži dochází k aerobní stabilizaci kalu, čímž se snižuje podíl lehce rozložitelných organických látek v aktivovaném kalu. Stabilizace snižuje riziko hygienické závadnosti s pojených s likvidací či využitím kalu.

Aktivovaný kal z nitrifikace pokračuje do dosazovací nádrže, kde se nejprve přivádí do uklidňovacího válce do středu dosazovací nádrže, kde dochází ke zrušení nátokové energie, částečnému vyvločkování aktivovaného kalu a usměrnění toku kalu ke dnu dosazovací nádrže. Zde dochází k oddělení aktivovaného kalu od vyčištěné vody. Kal v nádrži vytvoří tzv. kalový mrak, který v nádrži zaujímá značný objem. Kalový mrak by měl sahat maximálně 50 cm pod hladinu vody, aby nedocházelo k uniku kalu s vyčištěnou vodou. V tělese kalového mraku probíhá postupná sedimentace kalu ke dnu nádrže, kde je usazený kal shrabován mechanickým shrabovacím zařízením a čerpán do regenerační části aktivační nádrže. Tělesem kalového mraku protéká vyčištěná odpadní voda k hladině nádrže, která následně odtéká děrovanou trubkou a samospádem přes měrný objekt do recipientu.

4.2.1 Skladba biologické linky čištění

Biologická linka čištění je rozdělena na dvě identické linky, pouze s tím rozdílem, že v jedné dosazovací nádrži odtéká vyčištěná voda přes přepadovou hranu a ve druhé přes děrované potrubí. Každá linka je tvořena z nádrže denitrifikace, nitrifikace, regenerace kalu (RDN) a dosazovací nádrže. Tvar nádrží RDN je určen prostorem mezikruží s výsečemi, které vymezují požadovaný objem. K aeraci nitrifikace a regenerace kalu je použit provzdušňovací systém tvořen aeračním roštem z PP s jemnobublinnými aeračními elementy, s odvodněním a se stavitelnými podpěrami kotvenými do dna nádrže.

Tabulka 13: Základní technologické parametry aerace pro nádrž regenerace.

<i>Parametr</i>	<i>Množství</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Hloubka vody</i>	5,13	m
<i>Objem vody v nádrži</i>	cca 199	m ³
<i>Standardní potřeba kyslíku</i>	270 - 288 (zima - léto)	kg O ₂ /d

Tabulka 14: Základní technologické parametry aerace pro nádrž nitrifikace.

<i>Parametr</i>	<i>Množství</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Hloubka vody</i>	5,0	m
<i>Objem vody v nádrži</i>	cca 205	m ³
<i>Standardní potřeba kyslíku</i>	455 - 340 (zima - léto)	kg O ₂ /d

Dmýchadla s elektromotorem jsou zdrojem tlakového vzduchu. Jsou umístěna v protihlukových krytech v samostatných místnostech v tzv. dmychárně. Každá linka nitrifikace je provzdušňována samostatně, vždy jedním dmýchadlem. Pro obě linky regenerace je jedno dmychadlo společné. Běžné rozmezí koncentrace kalu je 3 - 4 kg/m³. V regeneraci je koncentrace kalu asi dvojnásobná. Hmotnostní množství BSK₅ přivedené do aktivační nádrže je přibližně 194,4 kg/d s denní produkcí přebytečného kalu cca 165 kg/d.

Tabulka 15: Parametry dmychadel zajišťující kyslíkový vnos do aktivace.

<i>Parametr</i>	<i>Nitrifikace</i>		<i>Regenerace</i>	
	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Množ. vzduchu dodané dmychadlem</i>	192	m ³ /h	192	m ³ /h
<i>Maximální přetlak</i>	60	kPa	60	kPa
<i>Příkon dmychadla</i>	4,87	kW	4,87	kW
<i>Instalovaný výkon motoru</i>	5,5	kW	5,5	kW

Odpadní voda, která je mechanicky předčištěna přepadá z lapáku písku do žlabu a potrubím odtéká do nádrže denitrifikace. Ve žlabu jsou osázena tři kanálová šoupátka. Uzavřením prvních dvou šoupátek a otevřením třetího je zajištěn obtok biologické části čistírny. Míchání denitrifikační nádrže zajišťuje ponorné vrtulové míchadlo s nerezovou vodící tyčí. Manipulaci s míchadlem je prováděna pomocí otočného jeřábku s vrátkem. Ponorné míchadlo má průměr vrtule 370 mm s otáčkami vrtule 710 ot/min.

Tabulka 16: Základní technologické parametry pro nádrž denitrifikace.

<i>Parametr</i>	<i>Množství</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Hloubka vody</i>	5,0	m
<i>Objem vody v nádrži</i>	cca 104	m ³

1) Vnější recykl

Funkci čerpadel vnějšího recyklu aktivační směsi plní čerpadla v provedení do suché jímky. Čerpadla mají jednokanálové oběžné kolo a motor s vnitřním chlazením.

Vratný kal je čerpadly v suché jímce čerpán do rozdělovacího objektu a dále je přepouštěn přes dělicí přepady do regeneračních nádrží 1 a 2. Přebytečný kal je čerpán toutéž pumpou do jímky přebytečného kalu odbočkou z potrubí s uzavírací armaturou s elektropohonem. Potrubí vratného kalu je podél lávky izolováno a otápěno. Dochází ke střídavému plnění kalojemů, které je zajištěno otevřením uzávěrů na potrubí. Jedná se o nožová šoupata s elektropohonem. Indukčním průtokoměrem ve výtlačném potrubí je měřeno množství vratného a přebytečného kalu.

2) Vnitřní recykl

Vnitřní recirkulace kalu mezi nitrifikací a denitrifikací je zajištěna ponorným čerpadlem. Výtlačné potrubí vede přes trojúhelníkovou přepadovou hranu s ultrazvukovým měřením výšky, které snímá množství recyklu s vazbou na frekvenční měnič čerpadla.

4.2.2 Dosazovací nádrž – vertikální

Vybavení dosazovací nádrže je stěrač dna a pochozí lávka. Dále je to strojní vybavení, do kterého patří uklidňovací válec s nátokem, odtokový žlab včetně odtokového potrubí vyčištěné vody a stahování hladiny s odvodem plovoucích nečistot. Plovoucí nečistoty z první dosazovací nádrže jsou čerpány potrubím až do společné jímky přebytečného kalu, a z druhé dosazovací nádrže jsou plovoucí nečistoty odváděny gravitačně do společné jímky přebytečného kalu.

Tabulka 17: Základní technologické parametry dosazovací nádrže.

<i>Parametr</i>	<i>Množství</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Plocha</i>	63,6	m ²
<i>Objem vody v nádrži</i>	350	m ³
<i>Střední hloubka</i>	5,5	m
<i>Doba zdržení při denní průtoku</i>	9,6	h
<i>Povrchové hydraulické zatížení při denním průtoku</i>	0,58	m ³ /(m ² .h)

Dosazovací nádrž (DN) zabírá plochu 63,6 m² s objemem 350 m³. Aktivovaný kal z aktivační nádrže odtéká do kruhové dosazovací nádrže, která má u dna průměr 9 m

a hloubku u stěny cca 6,3 m. Doba zdržení aktivovaného kalu přitékajícího z aktivací nádrže je 9,6 h, po uplynutí této doby by měl být obsah nádrže vyměněn. Množství odpadní vody přivedené na jednotkový povrch hladiny nádrže činí $0,58 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Mechanicky a biologicky vyčištěná voda odtéká z DN děrovanou trubicí, umístěnou v dosazovací nádrži pod hladinou a přes přepad samospádem odtéká potrubím přes měrný objekt s Parshallovým žlabem do recipientu. Plovoucí nečistoty jsou dle potřeby vypouštěny vnitřní kanalizací do přítoku do vstupní ČS, případně jsou čerpány do kalojemu.

4.3 Kalové hospodářství

Za rok 2020 vznikl na ČOV čistěním OV stabilizovaný kal v množství $3\,552 \text{ m}^3$ s průměrným obsahem sušiny v kalu 1,738 %. Celková produkce již odvodněného kalu za loňský rok činila 355 tun s průměrným obsahem sušiny v kalu 19,48 %. Nádrž kalojemu je dispozičně umístěna nad nádrží DZ. Kalojem je navržen jako uskladňovací obdélníková nádrž, která je rozdělena na dvě stejně velké poloviny. Uskladněný kal je v nádrži aerobně stabilizován. Tyto nádrže mají celkový objem 400 m^3 (kalojem I. 200 m^3 a kalojem II. 200 m^3).

Přebytečný kal je do kalojemu čerpán ponorným kalovým čerpadlem z jímky přebytečného kalu. Na výtlačku je napojeno čerpadlo, na němž je připojeno nové výtlačné potrubí ústící až do kalojemu. Kalová voda v jímce přebytečného kalu je odčerpávána ponorným kalovým čerpadlem, které je zavěšené nad jímkou na kladkostroji. Výtlak z čerpadla je napojen na hadici na přípojku, které vede přes stěnu do lapáku písku. Původní ČJ dešťových vod byla přestavěna na jímku přebytečného kalu. Maximální hladina přebytečného kalu je nastavena na výšku 6,2 m.

Nejprve dochází k promíchávání a provzdušňování nádrží. Po nějaké době je míchání zastaveno a dochází k sedimentaci. Přebytečný kal se usazuje a kalová voda je z kalojemu odčerpávána zpět na přítok ČOV. Pro odčerpání kalové vody z kalojemu slouží přenosné ponorné kalové čerpadlo zavěšené na ručním jeřábků nad nádrží kalojemu. Odstraňováním odsazené kalové vody dochází zároveň k zahušťování. V nádrži dochází za přístupu vzduchu k odstraňování organických látek, čím se kal stabilizuje.

Nádrže jsou otevřené a obsah obou nádrží je promícháván aeračním systémem. Aerační systém obsahuje aerační rošty z PP. Přívod vzduchu je zajištěn dmychadlem, jež je umístěno na betonovém základu pod pochozí lávkou u kalojemu. Toto dmychadlo je zabudováno do protihlukového krytu a je umístěno vedle nádrže, tudíž je vybaveno na venkovní použití. Dmychadlo se cyklicky spíná dle nastavené doby chodu a doby klidu, které si předem nastaví obsluha. Výtlak vzduchu je veden v potrubí a k uzavírání přívodu vzduchu do každého kalojemu se používají ruční uzavírací klapky.

Tabulka 18: Technologické parametry uskladňovací nádrže.

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Redukce sušiny kalu stabilizací</i>	35	%
<i>Koncentrace stabilizovaného kalu</i>	4,5	%
<i>Sušina stabilizovaného kalu</i>	107	kg/d
<i>Objem stabilizovaného kalu</i>	2,4	m ³ /d
<i>Doba zdržení kalu</i>	100	d

Aerobně stabilizovaný kal je čerpán z kalojemu ponorným kalovým čerpadlem. Čerpadlo slouží pro oba dva kalojemy a používá se dle potřeby. Každý kalojem má svoji samostatnou koncovku.

4.3.1 Mechanické odvodnění kalu

V kalojemech o celkovém objemu 400 m³ je přebytečný kal, přitékající z dosazovací nádrže, zahuštěn a dochází zde k jeho aerobní stabilizaci.

Tabulka 19: Průměrné hodnoty produkovaného kalu za rok 2019 a 2020.

<i>Období (rok)</i>	<i>Stabilizovaný kal</i>		<i>Odvodněný kal (mobilní odstředivka)</i>		
	<i>Sušina (%)</i>	<i>Ztráta žlhaním (%)</i>	<i>Množství (t)</i>	<i>Sušina (%)</i>	<i>Ztráta žlhaním (%)</i>
<i>2019</i>	1,88	68,27	380	19,32	69,40
<i>2020</i>	1,74	67,65	355	19,48	66,57

Takto zahuštěný a stabilizovaný kal byl odvodňován na mobilním odvodňovacím zařízení firmy Alfa Laval. Tato mobilní odstředivka byla nahrazena novým odvodňovacím šnekoliséem typ C-Press.

Objekt mechanického odvodnění kalu tvoří betonová konstrukce, která je rozdělena na dvě poloviny. V jedné polovině je nainstalován macerátor, podávací vřetenové čerpadlo a prostor pro přípravu flokulantu. Ve druhé polovině je umístěno zvyšovací čerpadlo, filtr a dvojice tlakových nádob. Na betonové konstrukci je postaven samonosný zateplený kontejner, v němž se nachází šnekolis a rozvaděč. Z kontejneru je vyveden šnekový dopravník, ze kterého odpadá odvodněný kal.

Na výtlačném potrubí čerpadla je zhotovena odbočka, na niž je nainstalován macerátor, který je vybaven uzavíratelným obtokem. Potrubí z macerátoru vede přes nožový uzávěr na sání podávacího vřetenového čerpadla. Frekvenční měnič z rozvaděče linky odvodnění kalu slouží k řízení čerpadla. Čerpadlo je vybaveno ochranou proti chodu nasucho a ochranou proti přetlaku. Výtlačné potrubí čerpadla je zakončeno nožovým uzávěrem. Potrubí dále vede přes indukční průtokoměr do dynamického flokulátoru, který zajišťuje optimální homogenizaci kalu a flokulantu. A z dynamického flokulátoru je vyvedeno potrubí do šnekolisu. Šnekolis je napojen přes dvojici magnetoventilů na přívod provozní vody. Dva pneumatické válce slouží k přitlaku lisovací příruby, která je přitlačována proti mezeře mezi košem a hřídelí. Zdrojem vzduchu pro tyto válce je kompresorová stanice. Když je kal odvodněný, tak vypadává do šnekového dopravníku, odkud je kal vynášen do přistaveného kontejneru, který je instalován na kolejnicovém vozíku. Kalová voda ze šnekolisu odtéká potrubím do vnitřní kanalizace ČOV.

Do jímky vyčištěné vody u DN je nainstalováno ponorné čerpadlo, které dopravuje vodu ke šnekolisu. Tato voda se využívá jako provozní voda pro ostřík síta šnekolisu. Výtlačné potrubí je zaústěno do objektu odvodnění kalu, kde je zabudována tlaková nádoba o objemu 500 l. Ke spínání čerpadla dochází v závislosti na tlaku. Vzhledem k požadovanému tlaku 8 bar u provozní vody na vstupu do šnekolisu, je provozní voda do zahušťovače vedena přes zvyšovací čerpadlo, které má následující parametry - průtok 4 l/s a výšku 40 m. Na výtlačném potrubí je osazena tlaková nádoba o objemu 100 l z důvodů tlakových rázů.

K vyčištění provozní vody na požadovanou kvalitu se používá poloautomatický diskový filtr, který je na vstupu a výstupu osazen manometry. Při překročení diferenčního tlaku 1 bar provede obsluha přestavění kulových kohoutů, což znamená, že otevře kulový kohout na obtoku a na proplachu a následně zavře kulový kohout na vstupu a výstupu z filtru. Délka praní se odvíjí od množství znečištění.

K přípravě flokulantu se používá plně automatizovaná stanice flokulantu. Roztoky se připravují z emulzního flokulantu značky Sokoflok. Výkon stanice pro 0,1 - 0,5 % roztoky polymerních flokulantů činí 1800 l/h. Vybavení jednotky je následující: směšovací komora s míchadlem, systém ředicí vody s ventily, průtokoměr, snímač minimálního průtoku a řídicí rozvaděč se zabudovaným peristaltickým čerpadlem koncentráту. Výtlačné potrubí je přes ruční uzávěr a indukční průtokoměr vedeno do dynamického flokulátoru.

Pro účinnější odvodnění stabilizovaného kalu se na mobilní odstředivce používal práškový flokulant Sokoflok 61. Aby bylo určeno správné dávkování flokulačního činidla, je potřeba provést výpočet specifické spotřeby flokulantu. Výpočet se provede následujícím způsobem, tak že se vynásobí množství odvodněného kalu a sušina odvodněného kalu, výsledná hodnota se podělí stem. Tímto výpočtem získáme množství odvodněného kalu o 100 % sušině. Množství použitého flokulantu se vydělí množstvím odvodněného kalu o 100 % sušině a tím získáme specifickou spotřebu flokulantu.

Rovnice 1: Výpočet množství odvodněného kalu o 100 % sušině a specifické spotřeby flokulantu.

$$\frac{MOK \cdot SOK}{100} = MOK_{100}$$

$$\frac{MF}{MOK_{100}} = SSF$$

➤ **Legenda**

MOK *Množství odvodněného kalu (t)*

SOK *Sušina odvodněného kalu (%)*

MOK₁₀₀ *Množství odvodněného kalu o 100 % sušině (t)*

MF *Množství flokulantu (kg)*

SSF *Specifická spotřeba flokulantu (g/kg)*

Tabulka 20: Hodnoty odvodněného kalu sloužící pro výpočet specifické spotřeby flokulantu mobilní odstředivkou za kvartální období 2019 - 2020 a šnekolisé v období 19.3. - 19.4. 2021.

Období (měsíc/rok)	Odvodněný kal		Množství odvodněného kalu o 100 % sušiny - MOK₁₀₀ (t)	Množství flokulantu - MF (kg)	Specifická spotřeba flokulantu - SSF (g/kg)
	Množství - MOK (t)	Sušina - SOK (%)			
<i>1 - 3/2019</i>	45	19,05	8,57	300	35
<i>4 - 6/2019</i>	100	18,73	18,73	450	24,03
<i>7 - 9/2019</i>	165	19,68	32,47	450	13,86
<i>10 - 12/2019</i>	70	19,81	13,87	260	18,75
<i>Součet a průměry hodnot za rok 2019 - mobilní odstředivka</i>					
2019	380	19,32	73,64	1460	22,91
<i>1 - 3/2020</i>	110	19,10	21,01	400	19,04
<i>4 - 6/2020</i>	145	19,43	28,17	550	19,53
<i>7 - 9/2020</i>	100	21,11	21,11	350	16,58
<i>10 - 12/2020</i>	0	0	0	0	0
<i>Součet a průměry hodnot za rok 2020 - mobilní odstředivka</i>					
2020	355	19,48	66,57	1300	18,38
<i>19.3. - 31.3.</i>	25	16,90	4,23	126	29,79
<i>6.4. - 19.4.</i>	23	17,17	3,95	106	28,84
<i>Součet a průměry hodnot za období 19.3. - 19.4. 2021 - šnekolis</i>					
19.3. - 19.4.	48	16,65	8,18	232	28,43

V tabulce č. 20 jsou uvedeny hodnoty přepočtů použitého množství flokulantu na specifickou spotřebu flokulantu v g/kg kalu. V případě mobilní odstředivky bylo v roce 2019 spotřebováno k odvodnění stabilizovaného kalu průměrně za měsíční období 22,91 g flokulantu na 1 kg kalu a v roce 2020 se spotřebovalo k odvodnění stabilizovaného kalu v měsíčním průměru 18,38 g flokulantu na 1 kg kalu. U šnekolisu se za měsíční zkušební

provoz spotřebovalo k odvodnění kalu 28,43 g flokulantu na 1 kg kalu. Průměrná měsíční spotřeba flokulantu u šnekolisu je vyšší než u mobilní odstředivky za oba roky. Může to být způsobeno tím, že je šnekolis zatím ve zkušebním provozu. Další možností je, že pro odvodňování stabilizovaného kalu šnekolisem se používá emulzní flokulační činidlo, které obsahuje pouze 50 % účinné látky a je ho potřeba dávkovat více.

Rovnice 2: Výpočet množství odvodněného kalu o 100 % sušiny a specifické spotřeby flokulantu za rok 2019 pro mobilní odstředivku.

➤ **1 - 3/2019**

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{135 \cdot 19,01}{100} = \underline{\underline{8,57 \text{ t}}}$$

$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{700}{25,66} = \underline{\underline{35 \text{ g/kg}}}$$

➤ **4 - 6/2019**

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{100 \cdot 18,73}{100} = \underline{\underline{18,73 \text{ t}}}$$

$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{450}{18,73} = \underline{\underline{24,03 \text{ g/kg}}}$$

➤ **7 - 9/2019**

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{165 \cdot 19,68}{100} = \underline{\underline{32,47 \text{ t}}}$$

$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{450}{32,47} = \underline{\underline{13,86 \text{ g/kg}}}$$

➤ **10 - 12/2019**

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{70 \cdot 19,81}{100} = \underline{\underline{13,87 \text{ t}}}$$

$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{260}{13,87} = \underline{\underline{18,75 \text{ g/kg}}}$$

Rovnice 3: Výpočet množství odvodněného kalu o 100 % sušiny a specifické spotřeby flokulantu za rok 2020 pro mobilní odstředivku.

➤ **1 - 3/2020**

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{110 \cdot 19,10}{100} = \underline{\underline{21,01 \text{ t}}}$$

$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{400}{21,01} = \underline{\underline{19,04 \text{ g/kg}}}$$

➤ 4 - 6/2020

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{145 \cdot 19,43}{100} = \underline{\underline{28,17 \text{ t}}}$$

$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{550}{28,17} = \underline{\underline{19,53 \text{ g/kg}}}$$

➤ 7 - 9/2020

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{100 \cdot 21,11}{100} = \underline{\underline{21,11 \text{ t}}}$$

$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{350}{21,11} = \underline{\underline{16,58 \text{ g/kg}}}$$

Rovnice 4: Výpočet množství odvodněného kalu o 100 % sušiny a specifické spotřeby flokulantu pro šnekolis za období 19.3. - 19.4. 2021.

➤ 19.3. - 31.3. 2021

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{25 \cdot 16,90}{100} = \underline{\underline{4,23 \text{ t}}}$$

$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{126}{4,23} = \underline{\underline{29,79 \text{ g/kg}}}$$

➤ 6.4. - 19.4. 2021

$$MOK_{100} = \frac{MOK \cdot SOK}{100} = \frac{23 \cdot 17,17}{100} = \underline{\underline{3,95 \text{ t}}}$$

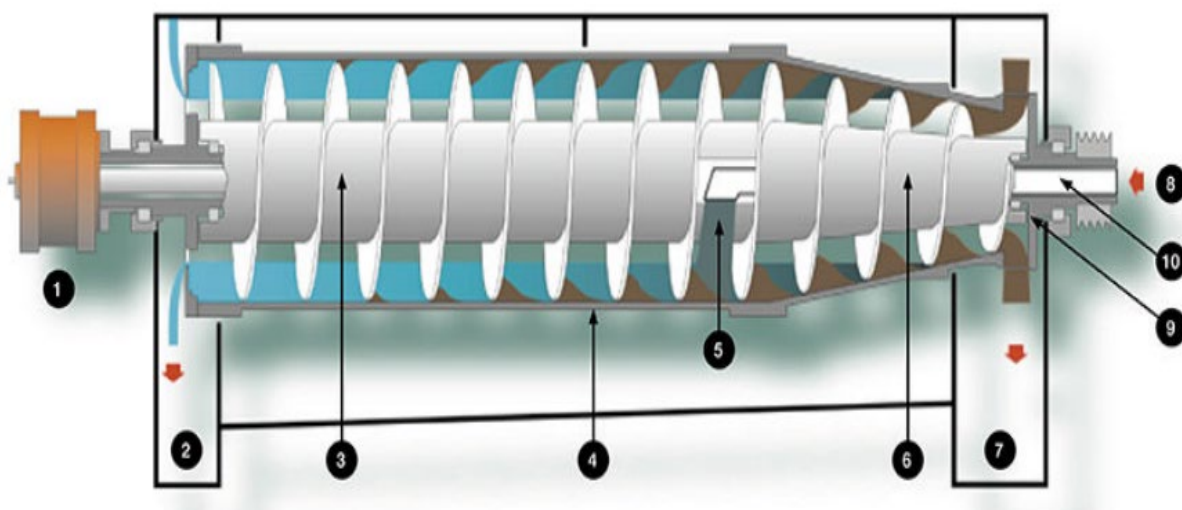
$$SSF = \frac{MF}{MOK_{100}} = \frac{106}{3,95} = \underline{\underline{28,84 \text{ g/kg}}}$$

4.3.2 Dekantační odstředivka typ ALDEC

Následující kapitola popisu původní zařízení, které sloužilo k odvodnění stabilizovaných kalů na ČOV Brušperk. Tato odstředivka se používá k zahušťování i odvodňování kalů z komunálních i průmyslových odpadních vod. Dokáže zvládnout široký

rozsah průtoků. Je navrženo tak, aby bylo efektivní s jednoduchou instalací, snadnou údržbou a obsluhou. Náklady na instalaci, provoz a životnost jsou minimální. Hlavním cílem odstředivky je snížení objemu kalu, což usnadňuje transport a snižuje náklady na jeho likvidaci. [41, 42]

Tlumiče vibrací jsou umístěny pod rámem. Rotující část odstředivky je uzavřena v plášti s krytem z nerezové oceli a ve spodní části jsou integrovány vývody jak pro odvodněný kal, tak pro kalovou vodu. Separace vody od kalu probíhá ve vodorovné poloze.



Obrázek 35: Schéma dekantační odstředivky ALDEC. (převzato a upraveno) [42]

1 - Převodovka, 2 - Odvod kalové vody, 3 - Šnekový dopravník, 4 - Stěna bubnu, 5 - Vstupní distributor, 6 - Kónické zakončení bubnu, 7 - Odvod kalového koláče, 8 - Vstup kalu, 9 - Vybíjení portů, 10 - Plnicí trubice

Uvnitř odstředivky je šnekový dopravník. Stabilizovaný kal vstupuje do odstředivky stacionárním vstupem přes trubici. Ve vnitřní části odstředivky se nachází buben, ve kterém dochází k plynulému zrychlování šnekového dopravníku. Výsledkem této rotace je odstředivá síla způsobující sedimentaci pevných látek, které ulpí na vnitřní stěně bubnu. Šnekový dopravník se otáčí ve stejném směru jako buben, ale o něco pomaleji, což způsobí posun pevných částic kalu ke kuželovitému konci bubnu. Kalový koláč opustí buben přes vypouštěcí otvory do vnitřní části pláště. K separaci kalové vody

od kalu dochází po celé délce válcové části bubnu a oddělená kapalina přepadává přes vestavěné přepážky do vnitřní části pláště, odkud je následně odvedena pryč. [42]

Buben, dopravník, sací trubka, výstupy, víko a další části, které jsou v přímém kontaktu s odvodňovaným kalem, jsou vyrobeny z nerezové oceli. Zóna, přes kterou je dopravován kal, je navíc chráněna materiálem, jenž je vysoce odolný proti korozi. Rám je vyroben z měkké oceli s povrchovou úpravou epoxidovým smaltem. Každá dekantací odštědivka je vybavena měničem kmitočtu, který se dodává v základové výbavě odštědivky. Tento regulátor ovládá provoz bubnu, aby byl zajištěn co největší výkon, efektivita a nízké náklady na provoz a údržbu. Regulátor také slouží k měření teploty ložiska a sleduje hladinu vibrací. [42]



Obrázek 36: Dekantační odštědivka ALDEC. [41]

4.3.3 Odvodňovací šnekolis typ CONTIPRESS SP2-4020

Toto odvodňovací zařízení firmy Andritz nahradilo mobilní odštědivku, jelikož měla nedostatečnou kapacitu a byla již opotřebovaná. Mobilní odštědivka měla kapacitu 2 m³/h, zatímco nový šnekolis 5 m³/h. Celá nová odvodňovací linka je zabudovaná v samonosném zatepleném kontejneru, který je osazen na nosné betonové konstrukci. Odvodňovací linka kalu sestává z vlastního odvodňovacího zařízení, kam patří šnekolis, macerátor, podávací vřetenové čerpadlo, příprava flokulantu, dopravník kalu. Kal je dopravován na kolejových podvozcích, ze kterých do kontejneru nadzemně vede potrubí výtlačku. Toto potrubí je opatřeno proti zamrznutí otápením a izolací. Macerátor firmy Vogelsang typ A-RCQ-20G neboli rozmělnovač, slouží k rozmělnění a rozdrčení pevných a vláknitých částic v čerpaném médiu. Chrání tím vřetenové čerpadlo firmy Seepex typ BN 10-6LS před ucpáním či poškozením. Je to velmi účinný stroj pro homogenizaci heterogenního média s výkonem 1 - 30 m³/hod.



Obrázek 37: Macerátor typ A-RCQ-20G. [43]

Aerobně stabilizovaný kal projde přes macerátor, odkud je podáván pomocí plnicího vřetenového čerpadla přes dynamický flokulátor do šnekolisu. Množství kalu je měřeno indukčním průtokoměrem DN 40. Do potrubí kalu před flokulátor s míchadlem je zaústěn flokulant a zde dojde ke smíchání kalu s flokulantem.

Tabulka 21: Provozní parametry šnekolisu.

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Kapacita</i>	5	m ³ /h
<i>Vstupní sušina kalu</i>	2,5 - 3	%
<i>Výstupní sušina kalu</i>	15 - 22	%
<i>Pohon</i>	1,5	kW
<i>Látkové zatížení</i>	120	kg suš./h
<i>Ztráty žíháním ve vstupním kalu</i>	55 - 65	%
<i>Kalový index</i>	< 120	cm ³ /g
<i>Vodivost kalu</i>	< 3	mS/cm
<i>Spotřeba ostřikové vody</i>	270	l/1 cyklus
<i>Spotřeba vzduchu</i>	10	l/min
<i>Délka x Šířka x Výška</i>	3318 x 1125 x 1300	mm
<i>Hmotnost za provozu</i>	1500	kg
<i>Výkon</i>	1,5	kW

Vlastní šnekolis je pomaluběžné zařízení, jehož filtrační buben je tvořen několika sekcemi dělenými dle své funkce na zahušťování, filtraci a vysokotlakou filtraci. Kapalný flokulant je připravován z emulzního koncentrátu, který je na ČOV dovážen, pomocí automatické stanice flokulantu. Toto zařízení zajistí potřebné naředění, promíchání a dopravu potrubím do odvodňovacího zařízení. Pomocí přípojky DN 25, která je přivedena do objektu pod kontejnerem, je zajištěn přísun pitné vody pro ředění emulzního koncentrátu. Šnekolis je navíc vybaven kompresorem, který slouží k seřízení pneumatického přitlaku kužele šnekolisu.

Odvodněný kal s obsahem sušiny okolo 20 %, odpadáva ze zařízení do sběrné násypky žlabového šnekového dopravníku a je vynášen do přistaveného kontejneru kalu. Kontejner je umístěn na kolejovém podvozku s ráčnou pro snadnější manipulaci s ním. Ve šnekolisu je také nainstalováno odvodňovací zařízení sloužící k ostřiku bubnu, který probíhá automaticky. K ostřiku je použita vyčištěná voda z odtoku. Odsazená voda neboli filtrát je odváděn potrubím, které je zabudováno pod zemí, do jímky fekálních vod. Celý chod linky je řízen automaticky a zajišťuje ho rozvaděč. V odvodňovací lince je zařazena nová automatizovaná (AT) stanice typu PolyMore Duo 40 - 6.0, jelikož ta původní nedokázala zajistit požadované množství vody a tlak, které jsou 14 m³/h při tlaku 6 barů. AT stanice kapalného flokulantu je kompletní zařízení pro přípravu a dávkování flokulačního roztoku z emulzního koncentrátu. Zařízení se skládá ze směšovací komory s míchadlem, systému ředící vody s ventily, průtokoměru, snímače min. průtoku a řídicího rozvaděče se zabudovaným peristaltickým čerpadlem koncentrátu.

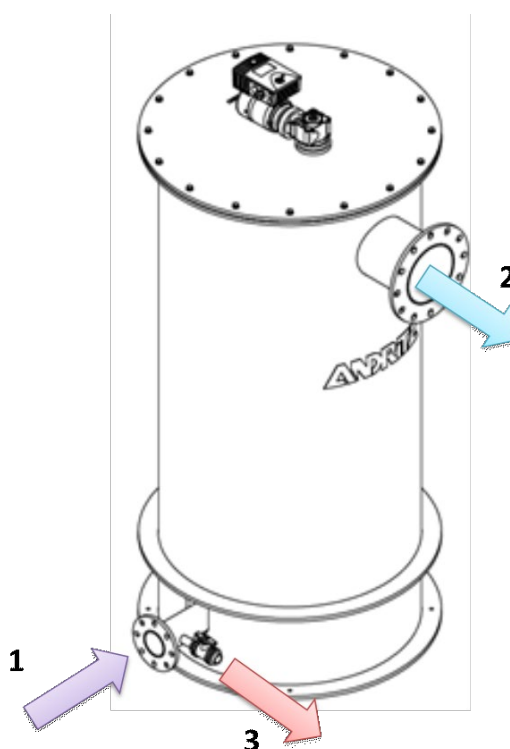
Tabulka 22: Provozní parametry AT stanice kapalného flokulantu.

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Výkon</i>	2	kg koncentrátu/h
<i>Přípravná voda</i>	3,5 - 10	l/min
<i>Ředící voda</i>	3 - 30	l/min
<i>Dávkovací čerpadlo polymeru</i>	5 - 100	ml/min
<i>Doba zdržení</i>	4,5 - 1,5	min
<i>Rozměry (š x d x h)</i>	640 x 505 x 590	mm
<i>Hmotnost</i>	40	kg

Na výtlačku z automatizované stanice je osazen diskový filtr mechanických nečistot, zachycující nežádoucí nečistoty v protékající vodě do velikosti 400 μm . Před odstředivkou je nainstalován indukční průtokoměr roztoku firmy Comac Cal typu Flow 38, který slouží k měření množství flokulantu a kalu vstupujícího do odstředivky. Součástí šnekolisu C-Press je planetová převodovka, která zajišťuje trvalý provoz s dostatečným výkonem za všech podmínek v průběhu odvodňování.

Rám šnekolisu je z uhlíkové oceli s vnitřním vyvložkováním pláty z nerezové oceli. Smáčená část je rovněž z nerezové oceli, čímž je zaručena vysoká odolnost proti korozi. Součástí základového rámu je vana, ve které se shromažďuje filtrát, který je gravitačním odtokem sváděn do pokračujícího potrubí.

Aby došlo k turbulentnímu směšování kalu s flokulátorem, je do potrubí přívodu kalu nainstalován Venturiho směšovač. Tato armatura je v případě odvodňovací linky nahrazena dynamickým flokulátorem firmy Andritz s míchadlem. Toto zařízení je tvořeno materiálem z černého HDPE o celkovém objemu 185 litrů. Frekvenční měnič je u tohoto zařízení součástí pohonu.



Obrázek 38: Dynamický flokulátor.

1 - Vstup kalu, 2 - Výstup kalu, 3 - Výpust

4.3.4 Znečištění odpadních vod na ČOV Brušperk

Přečištěné odpadní vody z ČOV Brušperk jsou vypouštěny do vodního toku Ondřejnice (levý břeh, 7,24 říční km). Před vypouštěním musí být dodržena stanovená jakost přečištěných OV v souladu s vodním zákonem č. 254/2001 Sb. V tabulce č. 23 jsou uvedena množství vypouštěných odpadních vod. Za rok 2020 bylo vypuštěno 460 000 m³ přečištěné odpadní vody do recipientu.

Tabulka 23: Množství vypouštěných odpadních vod z ČOV Brušperk za rok 2020.

<i>Parametr</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Průměrný průtok</i>	12,7	l/s
<i>Maximální průtok</i>	30,0	l/s
<i>Maximální množství - měsíční</i>	50 000	m ³
<i>Maximální množství - roční</i>	460 000	m ³

Tabulka 24: Jakost vypouštěných odpadních vod do recipientu za rok 2020.

<i>Ukazatel</i>	<i>Přípustná koncentrace ukazatelů znečištění (mg/l)</i>	<i>Maximální koncentrace ukazatelů znečištění (mg/l)</i>	<i>Průměrné množství znečištění v OV na přítoku (mg/l)</i>	<i>Průměrné množství znečištění v OV na odtoku (mg/l)</i>	<i>Množství vypouštěného znečištění (t/rok)</i>
<i>CHSK_{Cr}</i>	80	150	574	40	32
<i>BSK₅</i>	20	50	256	39	8
<i>NL</i>	30	60	227	30	10
<i>N-NH₄⁺</i>	15	30 *	33	16	4
<i>P_C</i>	3	8	6	3	1,2

Legenda:

CHSK_{Cr} chemická spotřeba kyslíku
BSK₅ biochemická spotřeba kyslíku
NL nerozpuštěné látky

N-NH₄⁺ *amoniakální dusík*

P_C *celkový fosfor*

** hodnota platí pro období, ve kterém je teplota OV na odtoku z biologického stupně vyšší než 12 °C.*

Dle tabulky č. 24 je zřejmé, že čistírna OV dodržuje přípustné koncentrace znečištění ve vypouštěných vodách a nepřekračuje maximální koncentrace ukazatelů znečištění. Ukazatel chemické spotřeby kyslíku má dle legislativy přípustnou koncentraci znečištění 80 mg/l a maximální 150 mg/l, na odtoku z ČOV bylo naměřeno 40 mg/l CHSK_{Cr}. V případě biochemické spotřeby kyslíku jsou legislativou předepsané přípustné koncentrace 20 mg/l a maximální 50 mg/l, při vypouštění OV z čistírny bylo naměřeno 39 mg/l BSK₅. Pro nerozpuštěné látky jsou přípustné koncentrace znečištění 30 ml/l a maximální 60 mg/l, na odtoku vyčištěných OV bylo naměřeno 30 mg/l NL. Přípustné hodnoty pro amoniakální dusík jsou 15 mg/l a maximální 30 mg/l, na odtoku čistírny bylo naměřeno 16 mg/l N-NH₄⁺. Posledním důležitým ukazatelem je celkový fosfor s přípustnou hodnotou znečištění 3 mg/l a maximální 8 mg/l, na odtoku bylo naměřeno 3 mg/l P_C.

Z hodnot ukazatelů, kterými jsou znečištěny odpadní vody, jsem spočítala, s jakou účinností bylo odstraněno znečištění z OV před vypouštěním do recipientu, a z těchto hodnot účinností jsem vypočetla průměrnou účinnost odstranění znečištění. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 25. Průměrná účinnost odstranění znečišťujících látek v odpadní vodě dosahovala vysokých hodnot, čím je zaručena spolehlivost kvality a jakosti vypouštěné odpaní vody. Látky podléhající chemickému rozkladu byly odstraněny s průměrnou účinností 94,75 %, s průměrnou účinností 98,74 % byly odstraněny látky biologicky rozložitelné, u nerozpuštěných látek dosáhla průměrná účinnost odstranění 96,58 %, amoniakální dusík byl odstraněn s průměrnou účinností 95,86 % a odstranění celkového fosforu bylo dosaženo s účinností 99,72 %, u kterého vyšla nejvyšší hodnota účinného odstranění. Naopak nejnižší hodnoty účinnosti odstranění bylo dosaženo u látek podléhajících chemickému rozkladu a to 94,75 %, avšak žádné množství znečištění v OV nerozpuštěnými látkami nepřekročilo maximální koncentraci ukazatelů znečištění danou legislativně.

Rovnice 5: Výpočet účinnosti odstranění znečištění z OV.

$$\eta = 100 - \frac{O \cdot 100}{Q}$$

Legenda:

η Účinnost odstranění znečištění z OV (%)

O Znečištění obsažené na odtoku (mg/l)

Q Znečištění obsažené v přítoku (mg/l)

Rovnice 6: Příklad výpočtu účinnosti odstranění CHSK_{Cr}.

$$O_{CHSK_{Cr}} = 17 \text{ mg/l}$$

$$Q_{CHSK_{Cr}} = 182 \text{ mg/l}$$

$$\eta = ? (\%)$$

$$\eta = 100 - \frac{O_{CHSK_{Cr}} \cdot 100}{Q_{CHSK_{Cr}}} = 100 - \frac{17 \cdot 100}{182} = \underline{90,66 \%}$$

Tabulka 25: Průměrná účinnost odstranění znečištění z OV na odtoku z čistírny za rok 2020.

<i>Ukazatel znečištění</i>	<i>Průměrné množství znečištění v OV na přítoku (mg/l)</i>	<i>Průměrné množství znečištění v OV na odtoku (mg/l)</i>	<i>Průměrná hodnota účinnosti odstranění znečištění (%)</i>
<i>CHSK_{Cr}</i>	574	40	94,75
<i>BSK₅</i>	256	39	98,74
<i>NL</i>	227	30	96,58
<i>N-NH₄⁺</i>	33	16	95,86
<i>P_C</i>	6	3	99,72

4.3.5 Situační plán ČOV

Po přítoku OV na ČOV Brušperk přitéká odpadní voda do lapáku šterku, odkud se šterk ručně těží drapákem šterku do přistaveného kontejneru. Lapák šterku je jímka, která zabraňuje smíchání šterku s nátokem OV do ČS nebo do dešťové zdrže. Dešťová voda se při deštích dostává do DZ a zbavená nečistot, které sedimentují na dně nádrže, odtéká přes přepadovou hranu do recipientu. Předčištěná voda od šterku protéká přes hrubé česle s průměrem průlin 10 mm se zabudovaným lisem, ve kterých se zachytí hrubé nečistoty. Následně dochází ke slisování shrabků, které jsou šnekovým podavačem vynášeny do

přistaveného kontejneru. Vylisovaná voda je přečerpávána čerpadly, která jsou zabudovány pod úroveň terénu budovy do nátokové jímky. Z nátokové jímky je voda čerpána do čerpací jímky (stanice), která tvoří nátok odpadní vody na hrubé předčištění. Hrubé předčištění se skládá z jemných česlí o průměru průlin 6 mm se zabudovaným lisem na shrabky a z lapáku písku. Vylisované shrabky vypadávají šnekovým podavačem do přistaveného kontejneru a voda s obsahem písku pokračuje do separátoru písku, kde dochází k separaci písku od vody. Separovaný písek je vybírán do stejného kontejneru jako shrabky. Takto předčištěná voda pokračuje na biologickou linku čištění.

Odsazená voda přitéká do nádrže denitrifikace, která není provzdušňována, ale pouze promíchávána, aby nedocházelo k usazování kalu a bakterií na dně nádrže. Naproti přítoku odpadní vody z lapáku písku do nádrže se nachází přítok vnitřního recyklu, ze kterého přitéká odpadní voda z nitrifikační nádrže. Na druhé straně nádrže je umístěn přítok vnějšího recyklu, kdy odpadní voda prochází přes nitrifikaci do dosazovací nádrže. Nitrifikační nádrž musí být provzdušňována (2 mg/l O_2), jelikož nitrifikační bakterie využívají jako akceptor elektronu kyslík. V dosazovací nádrži vzniká přebytečný a vratný kal. Přebytečný kal je odtahován kalovými čerpadly do kalojemů, které jsou střídavě plněny. Kal vratný je čerpán z dosazovací nádrže do nádrže regenerace, kde dochází k jeho obnově a promíchávání a pokračuje zpět do denitrifikace. V dosazovací nádrži dochází k sedimentaci kalu a odsazená voda odtéká do recipientu. Obě biologické linky mají stejnou skladbu nádrží, s tím rozdílem, že v DN 1 je zabudováno děrované potrubí sloužící k odtahu vyčištěné OV a v DN 2 vyčištěná voda odtéká přes přepadovou hranu. V 1. nádrži je vyšší účinnost čištění, ve 2. nádrži zůstává kal na hladině, a proto jsou před přepadovou hranou zabudovány zoubky, které uniklý kal zachytí. Pro odbourávání fosforu z OV se používá chlorid železitý, který se dává na odtoku OV z nitrifikace do dosazovací nádrže, jelikož zde dojde k jeho potřebnému promíchání s OV.

Přebytečný kal z jímky přebytečného kalu je čerpán střídavě do dvou kalojemů a kalová voda z jímky je svedena do vstupní kanalizace ČOV. Přebytečný kal je v kalojemech promícháván. Dochází k jeho zahušťování a aerobní stabilizaci. Takto zahuštěný a stabilizovaný kal je čerpán potrubím přes macerátor do dynamického flokulátoru, kde dochází k homogenizaci kalu a flokulantu. Stabilizovaný kal je připravený k odvodnění a pokračuje do šnekolisu. Po odvodnění šnekoliséem vypadáva odvodněný kal (vzhled černozemě) do přistaveného kontejneru, který je zabudován na kolejnicích

pro snadnější manipulaci. Veškeré kontejnery, které zde byly zmíněné, ať už se jedná o šterk, shrabky nebo písek, jsou po naplnění odváženy na skládku. Odvodnění kal se zde na ČOV už dále nezpracovává a je odvážen do Sviadnova k dalšímu zpracování a využití. Nejčastěji se tento kal využívá jako součást zeminy k rekultivacím. Fotografie pořízené z provozu a situační plán ČOV, jsem vložila do přílohy.

5 ZHODNOCENÍ ODVODŇOVÁNÍ KALŮ POMOCÍ ŠNEKOLISU

Šnekolis je na ČOV Brušperk nainstalován jen krátce a prozatímni výsledky pocházejí ze zkušebního provozu odvodnění stabilizovaných kalů. Pro porovnání jsem v této kapitole uvedla také množství odvodněného kalu pomocí mobilní odstředivky, která sloužila k odvodnění kalů v předešlých letech. Kromě množství odvodněného kalu za jednotlivé měsíce, jsem do tabulky uvedla hodnoty výstupní sušiny po odvodnění kalu a dopočetla i množství odvodněného kalu o 100 % sušině. Dále jsem vypočítala obsah vody ve vstupním vyhnílem kalu a obsah vody v kalu odvodněném. Následně jsem spočítala účinnost odvodnění kalu. K dispozici jsem měla výsledky z ČOV Brušperk z roku 2019 a 2020. K následujícím tabulkám jsem vytvořila také grafy pro přehlednější vyobrazení hodnot a k porovnání množství. V tabulce č. 26, jsou uvedena data za rok 2019, v tabulce č. 27 za následující rok 2020. V roce 2019 nedocházelo k odvodňování v lednu a únoru a v roce 2020 od října do prosince, a to z důvodu, že dochází k zamrzání nádrží, což znemožní zpracování kalů.

Tabulka 26: Množství odvodněného kalu pomocí dekantační odstředivky za rok 2019.

<i>Měsíc</i>	<i>Množství odvodněného kalu (t)</i>	<i>Množství odvodněného kalu o 100 % sušině (t)</i>	<i>Obsah sušiny odvodněného kalu (%)</i>
<i>Březen</i>	45	8,57	19,05
<i>Duben</i>	45	8,39	18,65
<i>Květen</i>	35	6,24	17,84
<i>Červen</i>	20	3,94	19,71
<i>Červenec</i>	50	9,98	19,95
<i>Srpen</i>	52	10,01	20,01
<i>Září</i>	65	12,40	19,07
<i>Říjen</i>	10	2,04	20,36
<i>Listopad</i>	25	4,76	19,04
<i>Prosinec</i>	35	6,27	17,91

Tabulka 27: Množství odvodněného kalu pomocí dekantační odstředivky za rok 2020.

<i>Měsíc</i>	<i>Množství odvodněného kalu (t)</i>	<i>Množství odvodněného kalu o 100 % sušiny (t)</i>	<i>Obsah sušiny odvodněného kalu (%)</i>
<i>Leden</i>	30	5,86	19,52
<i>Únor</i>	35	5,48	15,65
<i>Březen</i>	45	8,11	18,03
<i>Duben</i>	50	10,20	20,40
<i>Květen</i>	45	8,54	18,98
<i>Červen</i>	50	9,45	18,90
<i>Červenec</i>	25	5,36	21,44
<i>Srpen</i>	35	7,53	21,50
<i>Září</i>	40	8,16	20,39

Tabulka 28: Množství odvodněného kalu pomocí šnekolisu.

<i>Datum odběru</i>	<i>Množství odvodněného kalu (t)</i>	<i>Množství odvodněného kalu o 100 % sušiny (t)</i>	<i>Obsah sušiny odvodněného kalu (%)</i>
<i>19/3/2021</i>	4	0,67	16,63
<i>22/3/2021</i>	5	0,89	17,81
<i>24/3/2021</i>	4	0,67	16,63
<i>29/3/2021</i>	6	1,00	16,68
<i>31/3/2021</i>	6	1,00	16,73
<i>6/4/2021</i>	5	0,85	17,01
<i>9/4/2021</i>	4	0,70	17,39
<i>13/4/2021</i>	5	0,88	17,51
<i>15/4/2021</i>	4	0,70	17,43
<i>19/4/2021</i>	5	0,83	16,65

5.1 Účinnost odvodňování kalů

Do tabulky č. 28 jsem uvedla množství odvodněného kalu a účinnost jeho odvodnění. Dále jsem zde přepočítala množství odvodněného kalu na 100 % sušinu. Vzorke odvodněného kalu byly odebírány v intervalu 2 - 5 dní, dle možností pracovníka. Tyto hodnoty jsem následně zpracovala do grafu pro názornější představení. Za měsíc provozu bylo celkem odvodněno 48 tun kalu s průměrným obsahem sušiny 17,047 %. Průměrné množství odvodněného kalu s použitím mobilní odstředivky činilo za rok 2019 38 tun s průměrným obsahem sušiny 19,159 % a za rok 2020 40 tun s průměrným obsahem sušiny 19,4323 %. Grafická zobrazení odvodněného množství kalů mobilní odstředivkou za rok 2019 a 2020 a šnekolisem za měsíční interval tohoto roku, jsou k dispozici v příloze.

Tabulka 29: Statistické vyhodnocení účinnosti odvodnění kalu.

Parametr	Označení (%)	Mobilní odstředivka rok 2019	Mobilní odstředivka rok 2020	Šnekolis období 19.3. - 19.4.2021
<i>Aritmetický průměr</i>	\bar{x}	17,63	17,97	14,98
<i>Absolutní odchylka</i>	Δx_n	8,6	14,55	4,88
<i>Průměrná odchylka</i>	Δx	0,86	1,62	0,49
<i>Minimum</i>	<i>Min</i>	16,16	13,92	14,4
<i>Maximum</i>	<i>Max</i>	19,27	20,61	15,9
<i>Rozptyl</i>	$var(x)$	1,00132	3,84549	0,29166
<i>Směrodatná odchylka</i>	σ	1,00066	1,96099	0,54005
<i>Výběrová směrodatná odchylka</i>	<i>s</i>	1,05479	2,07995	0,56926
<i>Variační koeficient</i>	c_v	0,05982	0,115752	0,03799
<i>Medián</i>	<i>Me</i>	17,435	17,88	14,74

Legenda:

\bar{x}	<i>Aritmetický průměr - součet všech hodnot vydělený jejich množstvím</i>
Δx_n	<i>Absolutní odchylka - odchylky jednotlivých hodnot od aritmetického průměru</i>
Δx	<i>Průměrná odchylka - průměr absolutních odchylek</i>
Min	<i>Minimum - nejnižší hodnota souboru</i>
Max	<i>Maximum - nejvyšší hodnota souboru</i>
$var(x)$	<i>Rozptyl - popisuje, jak moc jsou hodnoty v souboru rozptýlené</i>
σ	<i>Směrodatná odchylka - popisuje, jak moc jsou hodnoty rozptýleny od průměrných hodnot</i>
s	<i>Výběrová směrodatná odchylka - odmocnina náhodného výběru hodnot</i>
c_v	<i>Variační koeficient - míra variability souboru</i>
Me	<i>Medián - rozdělení souboru na dvě poloviny, jedna polovina je menší než medián a druhá polovina větší než medián</i>

V předchozí tabulce jsou uvedeny statistická vyhodnocení účinnosti odvodňování kalů, pro porovnání obou odvodňovacích zařízení, v případě odstředivky za období 2019 - 2020 a u šnekolisu za měsíční období březen/duben 2021. Vypsala jsem zde i rovnice jednotlivých statistických veličin, aby bylo zřejmé, jak jsem dospěla k výsledkům.

Rovnice 7: Aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

Rovnice 8: Absolutní odchylka

$$\Delta x_1 = \bar{x} - x_1 \quad \Delta x_2 = \bar{x} - x_2 \quad \Delta x_n = \bar{x} - x_n$$

Rovnice 9: Průměrná odchylka

$$\Delta x = \frac{(\bar{x} - x_1) + (\bar{x} - x_2) + (\bar{x} - x_n)}{n}$$

Rovnice 10: Rozptyl

$$var(x) = \frac{1}{n} \cdot ((\eta_1 - \bar{\eta})^2 + (\eta_2 - \bar{\eta})^2 + (\eta_n - \bar{\eta})^2)$$

Rovnice 11: Směrodatná odchylka

$$\sigma = \sqrt{var(x)}$$

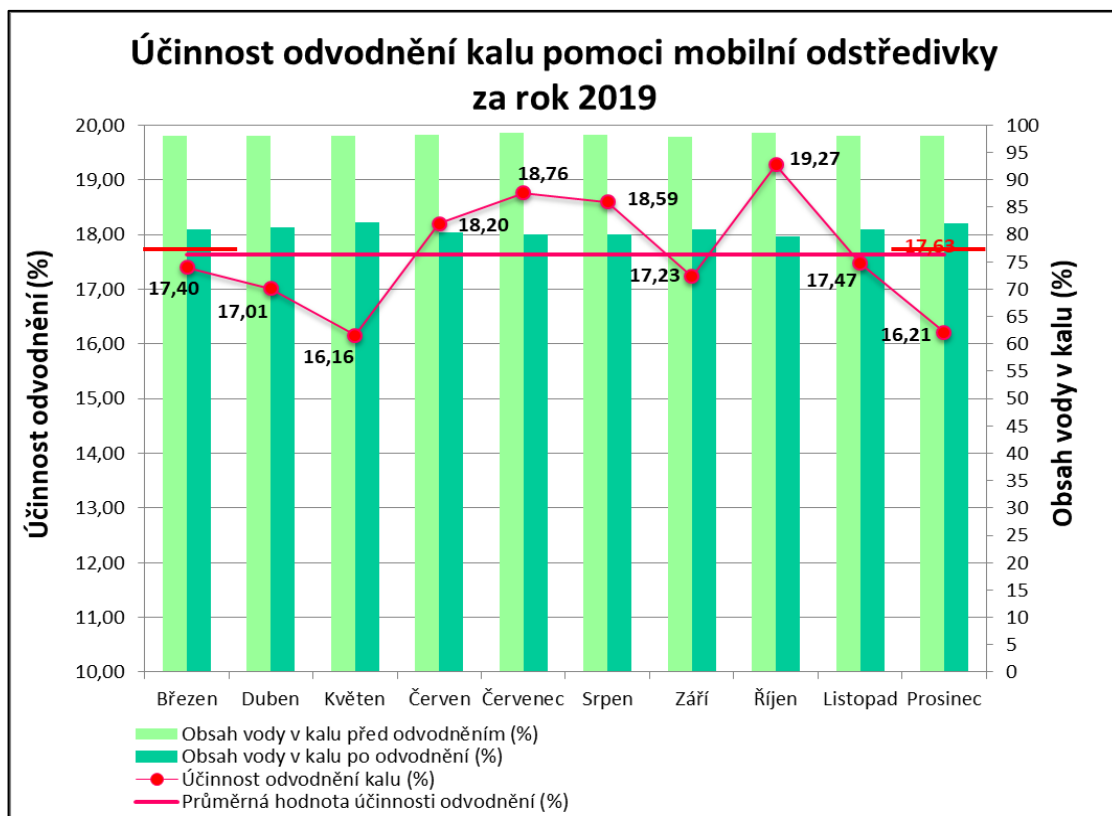
Rovnice 12: Variační koeficient

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

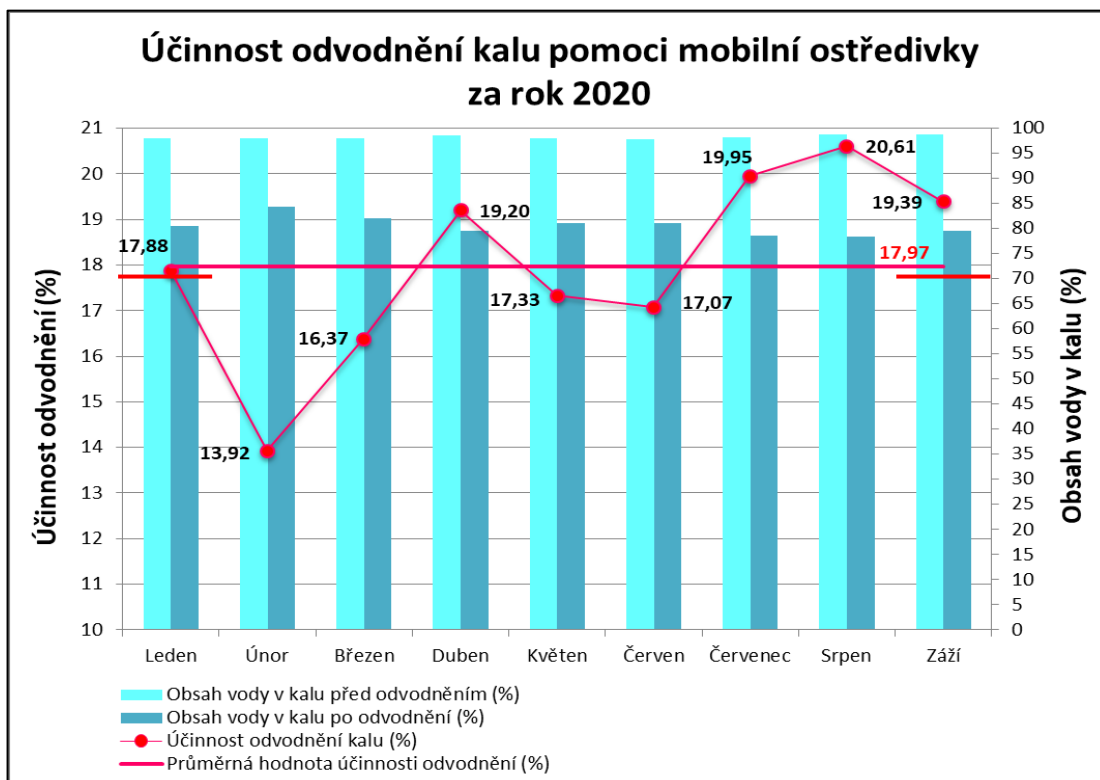
Průměrná účinnost odvodnění kalu s použitím mobilní odstředivky za rok 2019 dosáhla hodnoty $17,63 \pm 1,00066$ %, za rok 2020 hodnoty $17,97 \pm 1,96099$ %. V případě šnekolisu z měsíčních zkušebních hodnot byla dosažena účinnost odvodnění $14,98 \pm 0,54005$ %.

Tabulka 30: Účinnost odvodnění kalu vypočítaná z obsahů vody v kalu před a po odvodnění.

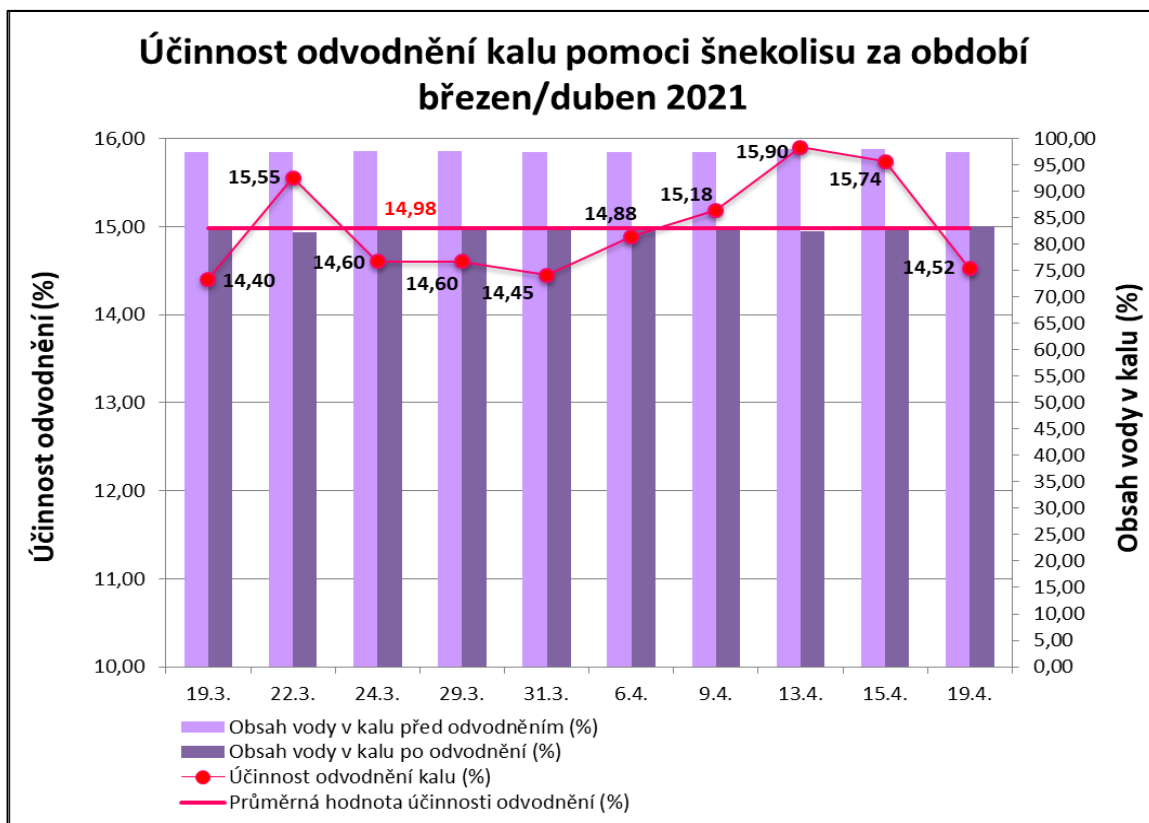
<i>Mobilní odstředivka rok 2019 (%)</i>										
Období	<i>Bře.</i>	<i>Dub.</i>	<i>Kvě.</i>	<i>Čer.</i>	<i>Červ.</i>	<i>Srp.</i>	<i>Září</i>	<i>Řij.</i>	<i>Lis.</i>	<i>Pro.</i>
Účinnost odvod.	17,4	17,01	16,16	18,20	18,76	18,59	17,23	19,27	17,47	16,21
Vstup vody	98,00	98,02	98,00	98,15	98,54	98,26	97,78	98,65	98,10	97,97
Výstup vody	80,95	81,35	82,16	80,29	80,05	79,99	80,93	79,64	80,96	82,09
<i>Mobilní odstředivka 2020 (%)</i>										
Období	<i>Led.</i>	<i>Úno.</i>	<i>Bře.</i>	<i>Dub.</i>	<i>Kvě.</i>	<i>Čer.</i>	<i>Červ.</i>	<i>Srp.</i>	<i>Září</i>	<i>-</i>
Účinnost odvod.	17,88	13,92	16,37	19,20	17,33	17,07	19,95	20,61	19,39	0
Vstup vody	98,00	97,99	98,02	98,51	98,01	97,79	98,14	98,88	98,16	0
Výstup vody	80,48	84,35	81,97	79,60	81,02	81,10	78,56	78,50	79,61	0
<i>Šnekolis 2021 (%)</i>										
Období	<i>19/3</i>	<i>22/3</i>	<i>24/3</i>	<i>29/3</i>	<i>31/3</i>	<i>6/4</i>	<i>9/4</i>	<i>13/4</i>	<i>15/4</i>	<i>19/4</i>
Účinnost odvod.	14,40	15,55	14,60	14,60	14,45	14,88	15,18	15,90	15,74	14,52
Vstup vody	97,40	97,32	97,62	97,57	97,33	97,50	97,39	98,08	97,99	97,51
Výstup vody	83,37	82,19	83,37	83,32	83,27	82,99	82,61	82,49	82,57	83,35



Graf 1: Účinnost odvodnění kalu mobilní odstředivkou rok 2019.



Graf 2: Účinnost odvodnění kalu mobilní odstředivkou za rok 2020.



Graf 3: Účinnost odvodnění šnekoliséem po měsíčním zkušebním provozu.

Rovnice 13: Výpočet účinnosti odvodnění kalu

$$\eta = \frac{W_{w_{VS}} - W_{w_{V\check{Y}}}}{W_{w_{VS}}} \cdot 100 \text{ (%)}$$

Legenda:

η Účinnost odvodnění

$W_{w_{VS}}$ Obsah vody v kalu před odvodněním (%)

$W_{w_{V\check{Y}}}$ Obsah vody v kalu po odvodnění (%)

➤ **Příklady výpočtů účinností odvodnění pro šnekolis**

➤ **19/3/2021**

$$\eta = \frac{W_{w_{VS}} - W_{w_{V\check{Y}}}}{W_{w_{VS}}} \cdot 100 = \frac{97,40 - 83,37}{97,40} \cdot 100 = \underline{\underline{14,40 \text{ %}}}$$

➤ **22/3/2021**

$$\eta = \frac{W_{w_{VS}} - W_{w_{V\check{Y}}}}{W_{w_{VS}}} \cdot 100 = \frac{97,32 - 82,19}{97,32} \cdot 100 = \underline{\underline{15,55 \text{ %}}}$$

➤ **24/3/2021**

$$\eta = \frac{W_{WVS} - W_{WV\check{Y}}}{W_{WVS}} \cdot 100 = \frac{97,62 - 83,37}{97,62} \cdot 100 = \underline{\underline{14,60 \%}}$$

➤ **29/3/2021**

$$\eta = \frac{W_{WVS} - W_{WV\check{Y}}}{W_{WVS}} \cdot 100 = \frac{97,57 - 83,32}{97,57} \cdot 100 = \underline{\underline{14,60 \%}}$$

➤ **31/3/2021**

$$\eta = \frac{W_{WVS} - W_{WV\check{Y}}}{W_{WVS}} \cdot 100 = \frac{97,33 - 83,27}{97,33} \cdot 100 = \underline{\underline{14,45 \%}}$$

➤ **6/4/2021**

$$\eta = \frac{W_{WVS} - W_{WV\check{Y}}}{W_{WVS}} \cdot 100 = \frac{97,50 - 82,99}{97,50} \cdot 100 = \underline{\underline{14,88 \%}}$$

➤ **9/4/2021**

$$\eta = \frac{W_{WVS} - W_{WV\check{Y}}}{W_{WVS}} \cdot 100 = \frac{97,39 - 82,61}{97,39} \cdot 100 = \underline{\underline{15,18 \%}}$$

➤ **13/4/2021**

$$\eta = \frac{W_{WVS} - W_{WV\check{Y}}}{W_{WVS}} \cdot 100 = \frac{98,08 - 82,49}{98,08} \cdot 100 = \underline{\underline{15,90 \%}}$$

➤ **15/4/2021**

$$\eta = \frac{W_{WVS} - W_{WV\check{Y}}}{W_{WVS}} \cdot 100 = \frac{97,99 - 82,57}{97,99} \cdot 100 = \underline{\underline{15,74 \%}}$$

➤ **19/4/2021**

$$\eta = \frac{W_{WVS} - W_{WV\check{Y}}}{W_{WVS}} \cdot 100 = \frac{97,51 - 83,35}{97,51} \cdot 100 = \underline{\underline{14,52 \%}}$$

Hodnota účinnosti může působit jako zavádějící číslo, jelikož se na první pohled zdá nízká. Z tohoto důvodu jsem ještě k těmto hodnotám doplnila index odvodnitelnosti, který vyjadřuje poměr sušiny odvodněného kalu a neodvodněného. Ve své podstatě to znamená, kolikrát bylo sníženo množství vody v kalu. V případě mobilní odstředivky za rok 2019 vyšla průměrná účinnost odvodnění $17,63 \pm 1,00066 \%$, což znamená, že se obsah vody snížil 8 - 10 krát, u mobilní odstředivky za rok 2020 se s průměrnou účinností $17,97 \pm 1,96099 \%$ snížil obsah vody 7 - 11 krát a u šnekolisu s průměrnou účinností odvodnění $14,98 \pm 0,54005 \%$ byl obsah vody snížen 6 - 9 krát.

Množství odvodněného kalu vznikající jako odpad při čištění OV je závislé na mnoha faktorech. Například v zimním období se ponechává více kalu v aktivační nádrži, jelikož aktivita bakterií se snižuje, klesne-li teplota pod 12 °C, tím pádem jde méně kalu na odvodňování. Další možností je déšť, pokud jsou vydatné deště, OV se naředí a produkce kalu ke zpracování se snižuje. Z těchto důvodů si lze v tabulkách 28 - 30 všimnout kolísavých měsíčních hodnot.

Účinnost odvodnění kalů také podléhá mnoha faktorům, které ji ovlivňují a mohou snižovat její hodnotu. Mezi nejdůležitější faktory patří flokulace a správné dávkování flokulačních činidel, což není jednoduchá záležitost. Dávky flokulantů se upravují přímo v provozu, dokud se nenajde ta optimální, která podpoří účinnost odvodňování. Je nutno provádět laboratorní zkoušky přesně pro typ kalu vznikající na ČOV, a poté vybrat vhodný typ flokulantu. Když se k odvodnění používala mobilní odstředivka, tak se využíval práškový flokulant Sokoflok, nyní při použití šnekolisu je využíván emulzní organický kationaktivní flokulant Sokoflok EM 840 HIB. Při použití tohoto typu flokulantu by měl kal dosahovat vyšší účinnosti odvodnění, po odvodnění by měl být drobivější a méně lepkavý a celkově by se jeho účinnost měla projevovat zvýšením výkonu zařízení. Tento typ emulzního flokulantu obsahuje pouze 50 % aktivní polymerní složky, a proto je jeho spotřeba vyšší než u práškového flokulantu. Naopak oproti práškovému flokulantu je jeho příprava snazší. Pokud je práškový flokulant špatně rozmíchán s vodou (min 40 minut) nedojde k jeho úplnému rozpuštění a vznikají malé gelovité hrudky, čímž flokulant ztrácí svou účinnost. Emulzní flokulanty jsou levnější než flokulanty práškové a to do jisté míry kompenzuje jejich vyšší spotřebu.

K dalším faktorům ovlivňujícím účinnost odvodňování patří složení a kvalita kalu vstupujícího na linku odvodnění. Důležitou roli hraje podíl organické hmoty v sušině, čím je tento podíl větší, tím je kal hůře odvodnitelný. A také je důležitý typ odvodňovacího zařízení, jeho parametry, jako je provozní výkon (nátok), látkové zatížení, obsah sušiny na vstupu a obsah sušiny na výstupu, spotřeba flokulačního činidla a mnoho dalších.

Z poskytnutých hodnot jsem vypočítala průměrnou spotřebu elektrické energie na odvodnění jednoho kilogramu kalu. Pro srovnání jsem použila stejnou hmotnost kalu a to 35 tun, která také vychází jako průměrná z hodnot za celý rok. Provozní náklady jsem dopočetla tak, že jsem vynásobila průměrnou částku na trhu 4,83 Kč/kWh s množstvím

elektrické energie v kWh spotřebovaným při odvodnění jednoho kila kalu. Z výsledků je patrné, že provoz šnekolisu je o něco málo levnější a vychází na 3,02 Kč/kg odvodnění kalu a v případě odstředivky na 3,18 Kč/kg odvodnění kalu.

5.1.1 Spotřeba elektrické energie

Tabulka 31: Průměrná spotřeba elektrické energie při odvodňování

<i>Parametr</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Mobilní odstředivka</i>	<i>Šnekolis</i>
<i>Průměrná měsíční spotřeba/35 tun</i>	kWh	23063,95	21886,67
<i>Přepočet na kg kalu</i>	kWh/kg	0,66	0,63
<i>Průměrná cena za kWh</i>	4,83 Kč/kWh	3,18	3,02

➤ Modelový příklad odhadu ročních nákladů na elektrickou energii

Z průměrných hodnot měsíčního množství spotřebované elektrické energie na odvodnění kalu, jsem vytvořila roční spotřebu elektrické energie, kterou jsem následně vynásobila průměrnou tržní cenou elektrické energie 4,83 Kč/kWh. I když se zdá provoz šnekolisu jen o něco málo levnější, při roční spotřebě se to už projeví jako vyšší částka. Z porovnaných hodnot by měl roční provoz šnekolisu vyjít o 68 235,- Kč levněji než provoz mobilní odstředivky.

1. Mobilní odstředivka:

Měsíční průměrná spotřeba 23 063 kWh/35 t kalu
 Roční spotřeba 276 767 kWh
 Náklady 1 336 787,- Kč/420 tun odvodněného kalu

2. Šnekolis:

Měsíční průměrná spotřeba 21 886 kWh/35 t kalu
 Roční spotřeba 262 640 kWh
 Náklady 1 268 551,- Kč/420 tun odvodněného kalu

6 DISKUZE A ZÁVĚR

Jelikož se v průběhu několika let značně navýšil přítok odpadních vod na ČOV Brušperk, stala se stávající mobilní technologická linka odvodňování z hlediska výkonu již nedostačující. Záměr stavby spočíval v náhradě mobilní odstředivky za novou stacionárně kapacitně výkonnější kontejnerovou linku pro odvodňování kalů, tedy šnekolis, který má vyšší výkon a dokáže zpracovat zvýšenou produkci kalu. Produkce kalu se mnohonásobně navýšila poté, co se na ČOV Brušperk připojily obce Hukvaldy, Sklenov, Rychaltice a Fryčovice. Stávající odstředivka Alfa Laval nedokázala již zpracovat navýšené množství stabilizovaného kalu, jelikož bylo zařízení již opotřebováno dlouhodobým provozem, což vedlo k negativnímu dopadu na sušinu odvodněného kalu.

Nové odvodňovací zařízení bylo uvedeno do provozu 19. 3. 2021. Po měsíčním zkušebním provozu, mi bylo poskytnuto deset výsledků získaných z odběrů odvodněného kalu. Tyto výsledky jsem v diplomové práci porovnávala s výsledky odvodnění kalů mobilní odstředivkou. Za rok 2020 vznikl na ČOV Brušperk čistěním OV stabilizovaný kal v množství 3 552 m³ s průměrným obsahem sušiny v kalu 1,74 %. Celková produkce již odvodněného kalu za loňský rok činila 355 tun s průměrným obsahem sušiny v kalu 19,48 %. Měsíční produkce odvodněných kalů mobilní odstředivkou za rok 2019 byla v průměru 38 tun a za rok 2020 dosáhla 40 tun. Zkušebním měsíčním provozem šnekolisu bylo odvodněno 45 tun kalů s průměrnou výstupní sušinou v kalu 17,05 %. Šnekolis tedy dokázal odvodnit větší množství vstupního stabilizovaného kalu, jelikož má vyšší výkon než mobilní odstředivka. Výkon šnekolisu dokáže odvodnit 4 - 5 m³/hod vstupního kalu, oproti tomu mobilní odstředivka dosahovala výkonu pouze 2 m³/hod vstupního kalu. V praxi se projevila účinnost odvodnění kalů šnekolisem nižší než uvádějí technické parametry. Skutečná hodnota účinnosti odvodnění šnekolisem v průměru vycházela 14,98 ± 0,54 % a oproti tomu by měla být dle technických parametrů nad 20 % sušiny na výstupu kalu, po odvodnění. U mobilní odstředivky byly průměrné hodnoty účinnosti odvodnění vyšší a to následovně za rok 2019 17,63 ± 1,00 % a za rok 2020 17,97 ± 1,96 %. I když je účinnost odvodnění šnekolisem nižší než účinnost odvodnění mobilní odstředivkou, dokázal šnekolis odvodnit vyšší množství stabilizovaného kalu, což byl původní záměr výměny odvodňovacího zařízení. Mobilní odstředivkou byl obsah vody ve stabilizovaném kalu snížen průměrně 8 - 11 krát a v případě šnekolisu 6 - 9 krát. Nižší

hodnota účinnosti odvodňování může být také způsobena dávkováním flokulantu. Jelikož se jedná zatím o zkušební provoz, je na místě zvážit změnu dávkování flokulantu.

Tím, že šnekolis oplývá vyšším výkonem odvodnění kalu, snížily se i náklady na spotřebu elektrické energie, jelikož dokáže odvodnit více kalu za kratší časový úsek. Z provozních hodnot spotřeby elektrické energie jsem vypočítala, že odvodnění jednoho kilogramu kalu mobilní odstředivkou vyjde přibližně na 3,18 Kč a odvodnění kalu šnekolisem na 3,02 Kč (vypočteno dle tržní ceny elektrické energie 4,83 Kč/kWh). Při ročním provozu šnekolisu, může tedy čistírna ušetřit přibližně 70 000,- Kč.

Přednostmi nového odvodňovacího zařízení je jeho jednoduchost a tichost provozu. Provoz šnekolisu je plně automatizován řídicím systémem Simatic S7). Byl také vyměněn typ flokulačního činidla z práškového za kationaktivní emulzní flokulant, který je automaticky míchán se vstupním stabilizovaným kalem a dávkován do šnekolisu. Průměrná dávka práškového flokulantu při provozu mobilní odstředivky byla za rok 2019 22,04 g/kg kalu a za rok 2020 19,09 g/kg kalu. V případě šnekolisu je dávkování emulzního flokulantu o něco vyšší a to 28,43 g/kg kalu, ale jelikož je emulzní flokulant levnější než práškový, nedošlo k výraznému finančnímu navýšení. Emulzní flokulant obsahuje pouze 50 % účinné látky, což je možný důvod, proč ho bylo při odvodňování, stabilizovaného kalu šnekolisem, použito více.

Dle celkového zhodnocení nového zařízení, si myslím, že vyšší výkon šnekolisu splnil požadavky a dokáže dostatečně odvodnit mnohonásobně navýšené množství produkovaného kalu a jeho účinnost by mohla být ještě zvýšena úpravou dávkování flokulantu. Jelikož nebylo hodnot příliš mnoho, myslím si, že se mi podařilo šnekolis dostatečně zhodnotit a porovnat jeho výstupní hodnoty z odvodnění kalu s původní mobilní odstředivkou. Dle mého názoru by bylo zajímavé pokračovat ve sběru dat a dále zařízení hodnotit z hlediska účinnosti odvodnění, množství sušiny v kalu po odvodnění, množství odvodněného kalu a dávkování flokulatu. Následujícím výzkumem by se mohlo potvrdit, zda se účinnost zařízení navýší nebo naopak sníží a zda bude zařízení nadále schopné odvodňovat již zmíněné množství kalu nebo dokonce více. Toto zařízení je určitě pro ČOV Brušperk velkým přínosem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. MALÝ, Josef a Petr HLAVÍNEK. *Čištění průmyslových odpadních vod* [online]. Brno: NOEL 2000, 1996 [cit. 2021-02-16]. ISBN 80-860-2005-3.
2. RACLAVSKÁ, Helena. *Technologie zpracování a využití kalů z ČOV*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1600-5.
3. LYČKOVÁ, Barbora, Peter FEČKO a Radmila KUČEROVÁ. *Zpracování kalů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-1921-1.
4. DOHÁNYOS, Michal, Nina STRNADOVÁ a Jan KOLLER. *Čištění odpadních vod*. Vyd. 1. (dot.). Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1994 [i.e. 1995]. ISBN 80-708-0207-3.
5. *Technologie čistíren odpadních vod*. In: SmVaK [online]. Ostrava [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <http://www.smvak.cz/technologie-cistiren-odpadnich-vod>
6. BINDZAR, Jan. *Základy úpravy a čištění vod*. Praha: VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-729-3. Dostupné z: https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid_isbn-978-80-7080-729-3
7. POLLERT, Jaroslav. *Mechanická část ČOV: Sedimentační nádrže*. In: Fakulta stavební ČVUT [online]. Praha, 8.10.2012 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_pr_3.pdf
8. *Biologické čištění odpadních vod*. In: E-čerpadla [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://www.e-cerpadla.cz/clanek/21/biologicke-cistení-odpadnich-vod>
9. *Aktivační čistírna*. In: *Jak se starat o čistírnu* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <http://www.jaksestaratocistirnu.cz/obecne-o-domovnich-cistirnach/typy-cistiren/aktivacni-cistirna/>
10. *Obecné zásady biologických čistírenských procesů*. In: Docplayer: Ústav procesní a zpracovatelské techniky [online]. Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2018 [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16680095-Obecne-zasady-biologickych-cistirenskych-procesu.html>
11. SOJKA, Jan a Petr HLAVÍNEK. *Malé čistírny odpadních vod* [online]. 2. aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2004 [cit. 2021-02-16]. Stavíme. ISBN 80-865-1780-2.

12. CHUDOBA, Jan, Jiří WANNER a Michal DOHÁNYOS. Biologické čištění odpadních vod: vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemicko-technologické. Praha: SNTL, 1991. Ochrana životního prostředí. ISBN 80-030-0611-2.
13. TRÖGL, Josef. Biodegradace, 2008. [cit. 2021-01-31] Dostupné na: <http://fzp.ujep.cz/~trogl/1Mikr11Biodegradace.pdf>
14. JECHOVÁ, I. Příprava vybraných mikrobiálních metabolitů z odpadních surovin. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 98 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Libor Babák, Ph.D.
15. DOHÁNYOS, Michal, Pavel JENÍČEK a Jana ZÁBRANSKÁ. Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. Phare. ISBN 80-853-6890-0.
16. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. Mikrobiologie v technologii vod. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2004. ISBN 80-708-0534-X.
17. PRABHU Vijin A., Sivaram A.R., Prabhu N., Sundaramahalingam A.. A study of enhancing the biogas production in anaerobic digestion. Materials Today: Proceedings, 2021. ISSN 2214-7853. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1009>.
18. MARA, David Duncan a N. J. HORAN, ed. Handbook of water and wastewater microbiology. London: Academic Press, c2003. ISBN 0-12-470100-0.
19. DOHÁNYOS, Michal. Anaerobní čistírenské technologie. Brno: NOEL 2000, c1998. ISBN 80-860-2019-3.
20. KUTIL, Josef, DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz [online]. 2005-01-05 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>. ISSN: 1801-2655.
21. DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz [online]. 2006-05-09 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
22. BIELA, Renata a Ilona ŠEVČÍKOVÁ. Možnosti zpracování vodárenských kalů. In: Tzbinfo [online]. Brno, 2014 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://voda.tzbinfo.cz/12241-moznosti-zpracovani-vodarenskych-kalu>

23. JENÍČEK, Pavel. Kalové hospodářství: Odvodňování. In: Studijní opory VŠCHT [online]. Praha, 2018 [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~jenicekp/>
24. HARTIG, Karel. Problematika kalového hospodářství. In: Vodní hospodářství [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi/>
25. ŽERAVA, Zdeněk. Čistírenské kaly - současnost a budoucnost [online]. Brno, 2008 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5612.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
26. TUROVSKIY, Izrail a P. K. MATHAI. Thickening and dewatering. Wastewater Sludge Processing [online]. John Wiley & Sons, 2005, 60 - 135 [cit. 2021-03-06]. ISBN 9780471791614. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/047179161X.ch3>
27. IDRIS, A., O. B. YEN, M. HAMID a A. M. BAKI. Drying kinetics and stabilization of sewage sludge in lagoon in hot climate. Water Science and Technology [online]. London: IWA Publishing, 2002, 46(9), 279-286 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://search.proquest.com/scholarly-journals/drying-kinetics-stabilization-sewage-sludge/docview/1943361666/se-2?accountid=26990>
28. KYNCL, Miroslav. Technologie, zpracování a využití vodárenských kalů: monografie. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1604-3.
29. Lubomír Mazel, Miloš Pokorný: Vodárny a čistírny. 2. přepracované vydání, VUT, Brno 1992. 149 s. ISBN 80-214-0473-6
30. Kalolisy. In: Envites: Technika pro vodní a kalové hospodářství [online]. Brno, 2014 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.envites.cz/cs/produkty/kalolisy/>
31. VOLEJNÍK, Tomáš. Vliv specifické spotřeby flokulantu na odvodnitelnost čistírenského kalu [online]. Brno, 2008 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5246.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
32. ABSOLON, V. J. a D. NIEUWKERK. Innovative Use of Screw Press Filtration in Tailings Dewatering Plant Design. Australia, 2014. Dostupné z: http://www.ishigaki.com.au/uploads/3/7/3/8/37389811/ishigaki_oceania_screw_press_september_2014.pdf

33. C-Press: Screw press for efficient sludge dewatering. In: Andritz [online]. France, 2016 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.andritz.com/products-en/group/separation/screens-drains-presses/c-press-sludge>
34. GN New Screw Press Sludge Dewatering Machine for Water Treatment. PR Newswire [online]. New York: PR Newswire Association, srpen 2020 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://search.proquest.com/wire-feeds/gn-new-screw-press-sludge-dewatering-machine/docview/2447192564/se-2?accountid=26990>
35. JENÍČEK, Pavel. Kalové hospodářství: Hygienizace kalů. In: Studijní opory VŠCHT [online]. Praha, 2018 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~jenicekp/>
36. Kalové hospodářství: Aerotherm. In: Ekomvo: Technologie pro životní prostředí [online]. Petřvald, 2013 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://www.ekomvo.cz/index.php/main-2/kalove-hospodarstvi/aerotherm>
37. Kalové hospodářství: Pasterizace kalu. In: Ekomvo: Technologie pro životní prostředí [online]. Petřvald, 2013 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://www.ekomvo.cz/index.php/main-2/kalove-hospodarstvi/pasterizace-kalu>
38. NĚMEC, Jan. Způsoby předúpravy kalu k dalšímu využití [online]. Brno, 2010 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27009.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
39. PETŘÍK, Jiří. Technicko-ekonomické vyhodnocení kalového hospodářství ČOV [online]. Brno, 2018 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=167951.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
40. ČOV Brušperk. In: Koneko: Projektová a inženýrská činnost ve vodním hospodářství [online]. Ostrava, 2006 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: http://www.koneko.cz/detail-fotografie/cov-brusperk/foto_81.html
41. ALDEC. In: Alfa Laval [online]. 2015 - 2020 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.alfalaval.cz/produkty/separace/odstredive-separatory/dekantacni-odstredivky/aldec/>
42. Alfa Laval ALDEC Decanter Product Leaflet.pdf. In: Alfa Laval [online]. 2015 - 2020 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z:

<https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/separation/centrifugal-separators/decanter/alfa-laval-aldec-decanter-product-leaflet.pdf>

- 43.** Rotacut wet cutter with integrated heavy material separator. In: Vogelsang [online]. Germany [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.vogelsang.info/int/products/grinders-and-separators/grinders/rotacut/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Pravoúhlá usazovací nádrž s horizontálním průtokem.....	4
Obrázek 2: Radiální usazovací nádrž.....	4
Obrázek 3: Usazovací nádrž s vertikálním průtokem.	4
Obrázek 4: Blokové schéma technologické linky čistírny odpadních vod.....	5
Obrázek 5: Schéma D-N systému.	7
Obrázek 6: Hladiny redoxních potenciálů	9
Obrázek 7: Růstová křivka mikroorganismů.	11
Obrázek 8: Blokové schéma aktivačního procesu.	12
Obrázek 9: Vločky aktivovaného kalu - nativní preparát.	14
Obrázek 10: Blokové schéma kontinuálního systému s postupným tokem.....	16
Obrázek 11: Schéma směšovacího systému.	16
Obrázek 12: Mikrobiologický rozklad organických látek za přítomnosti kyslíku.	17
Obrázek 13: Znázornění anaerobního reaktoru s biomasou v suspenzi.....	19
Obrázek 14: Schéma znázorňující anaerobní rozklad organických látek.	20
Obrázek 15: Základní schéma kalového hospodářství na ČOV.	22
Obrázek 16: Příklady míchání methanizačních nádrží	27
Obrázek 17: Příklady vytápění methanizačních nádrží.	28
Obrázek 18: Kalové pole úpravny vod.	30
Obrázek 19: Kalová laguna.....	31
Obrázek 20: Schéma odstředivky.	32
Obrázek 21: Schéma bubnového vakuového filtru.....	33
Obrázek 22: Základní části kalolisu.....	35
Obrázek 23: Schéma síťopásového lisu.....	36
Obrázek 24: Odvodňovací vak.	38

Obrázek 25: Schéma filtračního bubnu.	39
Obrázek 26: Znázornění výměnné polyuretanové stírací vložky	40
Obrázek 27: Schéma horizontálního šnekolisu.....	40
Obrázek 28: Filtrační zařízení šnekolisu	41
Obrázek 29: Opad kalového koláče po odvodnění.	41
Obrázek 30: Ostříkový systém šnekolisu.....	42
Obrázek 31: Technologické schéma chemické hygienizace kalu.....	43
Obrázek 32: Technologické schéma metody AEROTHERM.	44
Obrázek 33: Technologické schéma procesu pasterizace.....	45
Obrázek 34: Čistírna odpadních vod Brušperk.....	48
Obrázek 35: Schéma dekantační odstředivky ALDEC.....	64
Obrázek 36: Dekantační odstředivka ALDEC.....	65
Obrázek 37: Macerátor typ A-RCQ-20G.....	66
Obrázek 38: Dynamický flokulátor.	68

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Účinnost odvodnění kalu mobilní odstředivkou rok 2019.	79
Graf 2: Účinnost odvodnění kalu mobilní odstředivkou za rok 2020.....	79
Graf 3: Účinnost odvodnění šnekolisem po měsíčním zkušebním provozu.....	80

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Energetická bilance procesů.	13
Tabulka 2: Složení kalu.	23
Tabulka 3: Porov. prvkového složení anaerobně stabilizovaného kalu a hnědého uhlí.	24
Tabulka 4: Metody odvodňování kalů.	29
Tabulka 5: Výsledná sušina po použití vakuového bubnového filtru pro jednotlivé druhy kalů.....	34
Tabulka 6: Výsledná sušina po použití kalolisu pro jednotlivé druhy kalů.....	35
Tabulka 7: Výsledná sušina po použití sítopásového lisu pro jednotlivé druhy kalů.....	37
Tabulka 8: Výsledná sušina po použití odvodňovacího vaku pro jednotlivé druhy kalů.	38
Tabulka 9: Porovnání odvodňovacích zařízení dle potřebného výkonu.	42
Tabulka 10: Porovnání metod hygienizace kalu vápněním a pasterizací.	46
Tabulka 11: Kapacita ČOV Brušperk.	49
Tabulka 12: Provozní parametry vstupní čerpací stanice.	51
Tabulka 13: Základní technologické parametry aerace pro nádrž regenerace.....	54
Tabulka 14: Základní technologické parametry aerace pro nádrž nitrifikace.	54
Tabulka 15: Parametry dmychadel zajišťující kyslíkový vnos do aktivace.	55
Tabulka 16: Základní technologické parametry pro nádrž denitrifikace.	55
Tabulka 17: Základní technologické parametry dosazovací nádrže.	56
Tabulka 18: Technologické parametry uskladňovací nádrže.	58
Tabulka 19: Průměrné hodnoty produkovaného kalu za rok 2019 a 2020.	58
Tabulka 20: Hodnoty odvodněného kalu sloužící pro výpočet specifické spotřeby flokulantu mobilní odstředivkou za kvartální období 2019 - 2020 a šnekolisem v období 19.3. - 19.4. 2021.	61
Tabulka 21: Provozní parametry šnekolisu.	66

Tabulka 22: Provozní parametry AT stanice kapalného flokulantu.	67
Tabulka 23: Množství vypouštěných odpadních vod z ČOV Brušperk za rok 2020.	69
Tabulka 24: Jakost vypouštěných odpadních vod do recipientu za rok 2020.	69
Tabulka 25: Průměrná účinnost odstranění znečištění z OV na odtoku z čistírny za rok 2020.	71
Tabulka 26: Množství odvodněného kalu pomoci dekantální odstředivky za rok 2019.....	74
Tabulka 27: Množství odvodněného kalu pomoci dekantální odstředivky za rok 2020.....	75
Tabulka 28: Množství odvodněného kalu pomoci šnekolisu.....	75
Tabulka 29: Statistické vyhodnocení účinnosti odvodnění kalu.	76
Tabulka 30: Účinnost odvodnění kalu vypočítaná z obsahů vody v kalu před a po odvodnění.....	78
Tabulka 31: Průměrná spotřeba elektrické energie při odvodňování	83

SEZNAM POUŽITÝCH ROVNIC

Rovnice 1: Výpočet množství odvodněného kalu o 100 % sušině a specifické spotřeby flokulantu.....	60
Rovnice 2: Výpočet množství odvodněného kalu o 100 % sušině a specifické spotřeby flokulantu za rok 2019 pro mobilní odstředivku.	62
Rovnice 3: Výpočet množství odvodněného kalu o 100 % sušině a specifické spotřeby flokulantu za rok 2020 pro mobilní odstředivku.	62
Rovnice 4: Výpočet množství odvodněného kalu o 100 % sušině a specifické spotřeby flokulantu pro šnekolis za období 19.3. - 19.4. 2021.....	63
Rovnice 5: Výpočet účinnosti odstranění znečištění z OV.....	71
Rovnice 6: Příklad výpočtu účinnosti odstranění CHSKCr.....	71
Rovnice 7: Aritmetický průměr	77
Rovnice 8: Absolutní odchylka.....	77
Rovnice 9: Průměrná odchylka.....	77
Rovnice 10: Rozptyl	77
Rovnice 11: Směrodatná odchylka	77
Rovnice 12: Variační koeficient	77
Rovnice 13: Výpočet účinnosti odvodnění kalu	80

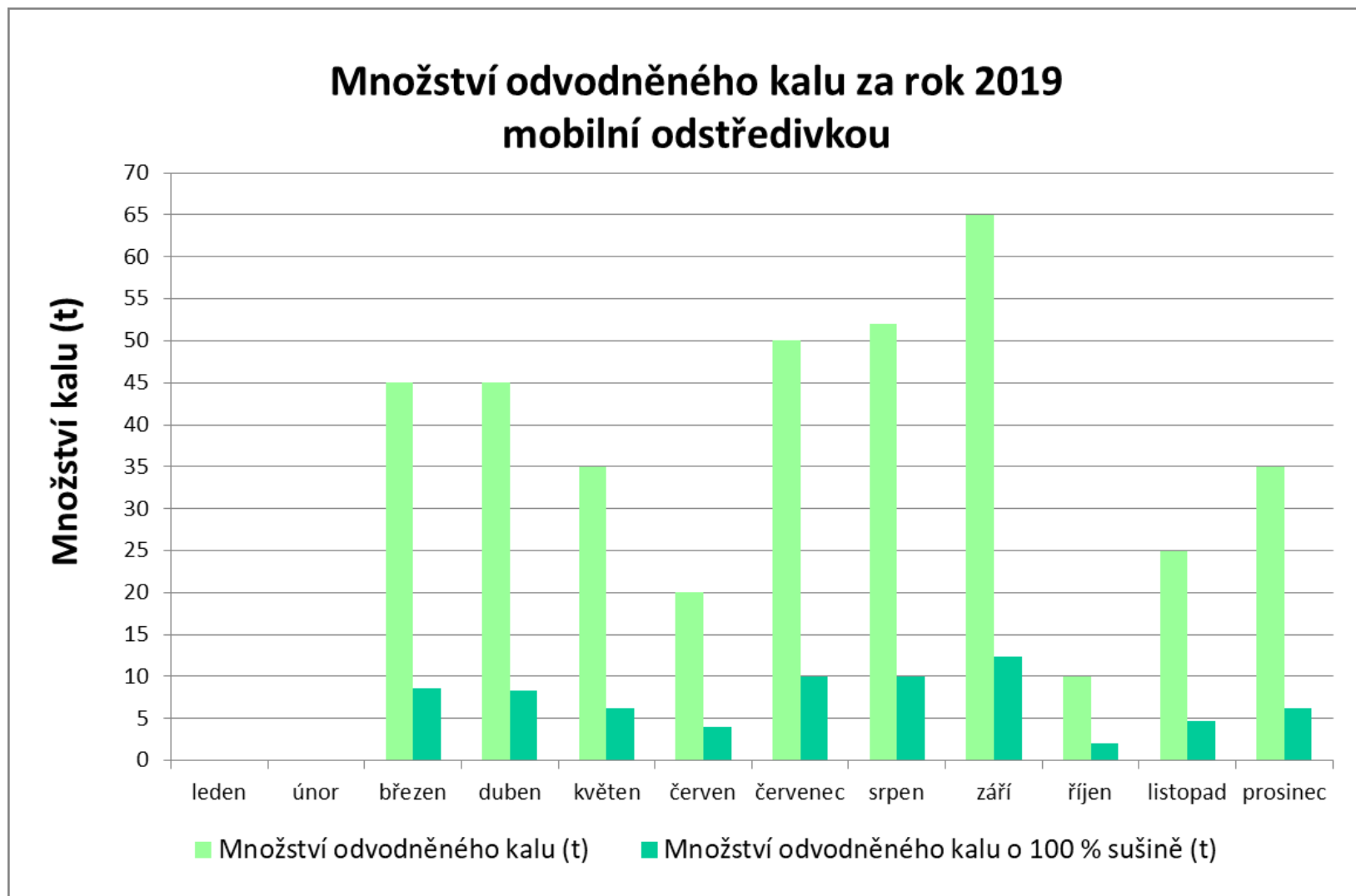
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Grafické znázornění množství odvodněného kalu za rok 2019 mobilní odstředivkou.....	1
Příloha 2: Grafické znázornění množství odvodněného kalu za rok 2020 mobilní odstředivkou.....	2
Příloha 3: Množství odvodněného kalu šnekolisé.	3
Příloha 4: Situační plán ČOV.	4
Příloha 5: Nalevo - nátoková jímka s lapákem šterku, napravo - drapák šterku.	5
Příloha 6: Hrubé česle s lisem na shrabky.	6
Příloha 7: Jemné česle s lisem na shrabky + lapák písku zabudovaný pod úrovní terénu.....	7
Příloha 8: Denitrifikační nádrž s vyznačenými přítoky do nádrže.	8
Příloha 9: Nalevo nitrifikační nádrž, napravo dosazovací nádrž.	9
Příloha 10: Nalevo snímač obsahu kyslíku v nitrifikační nádrži, napravo zásobní nádrž FeCl_3 pro odstranění fosforu.....	10
Příloha 11: Kalojem - uskladňovací nádrž se snímačem hladiny kalu.	11
Příloha 12: Uskladňovací nádrž s kalovým čerpadlem pro odtah stabilizovaného kalu k odvodnění.....	12
Příloha 13: Původní odvodňovací zařízení - mobilní odstředivka Alfa Laval.	13
Příloha 14: Mobilní kontejner, ve kterém je umístěna odstředivka Alfa Laval.....	14
Příloha 15: Na spodu je betonová konstrukce, ve které je umístěn emulzní flokulant a nahoře je zateplený kontejner se šnekolisé.	15
Příloha 16: Nové zařízení k odvodňování kalů - šnekolis.	16
Příloha 17: Přívod směsi flokulantu a stabilizovaného kalu do šnekolisu.....	17
Příloha 18: Ovládací panel šnekolisu s detailem obrazovky.	18

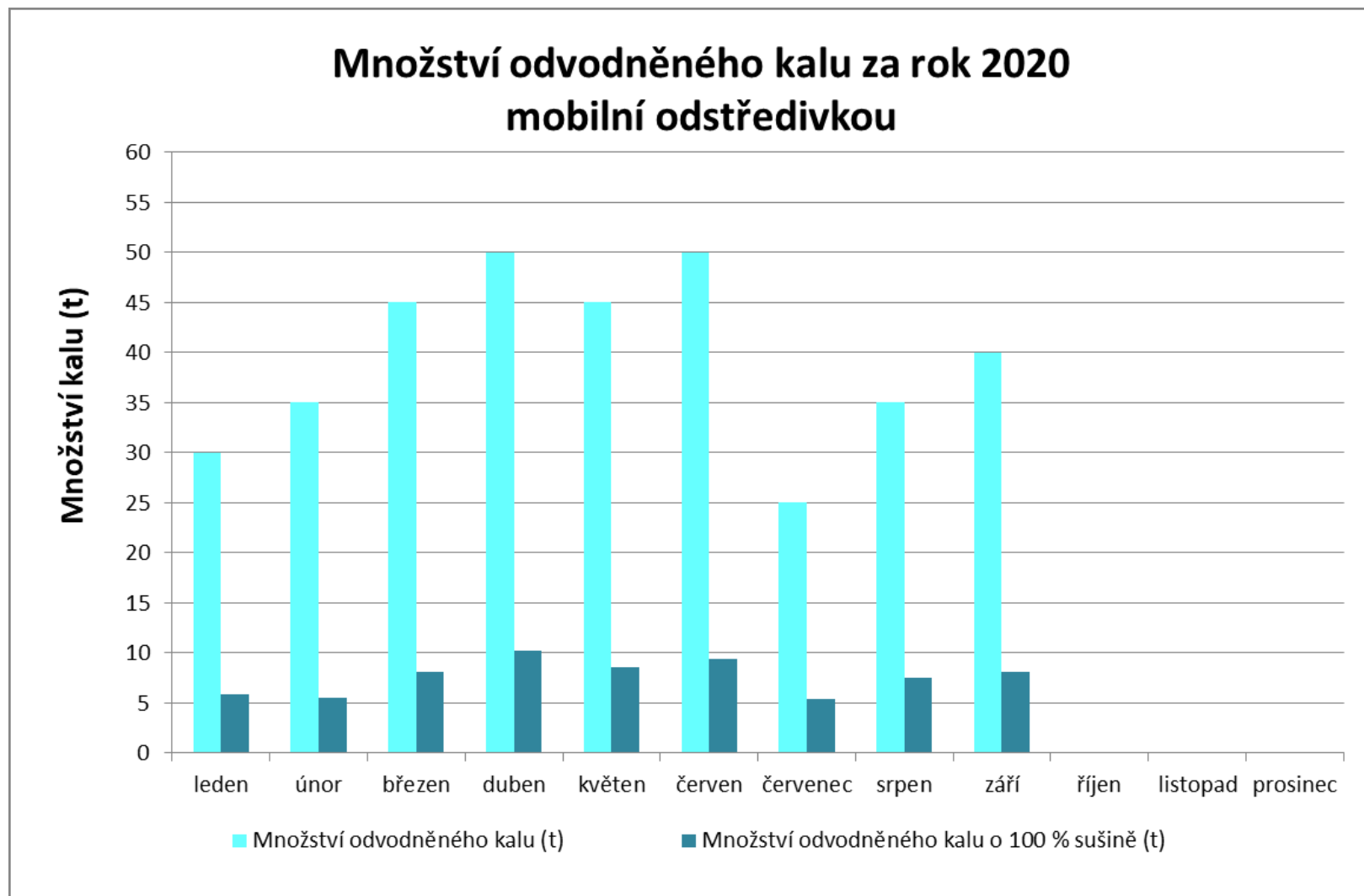
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AT	automatizovaná (stanice)
BSK	biochemická spotřeba kyslíku
ČJ	čerpací jímka
ČOV	čistírna odpadních vod
ČS	čerpací stanice
DN	dosazovací nádrž
DZ	dešťová zdrž
H	hloubka nádrže
h₁...h₄	jednotlivé hloubky nádrže
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
MF	množství flokulantu
MOK	množství odvodněného kalu
MOK₁₀₀	množství odvodněného kalu o 100 % sušiny
NL	nerozpuštěné látky
OV	odpadní voda
pH	záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů
RND	nádrže regenerace, nitrifikace, denitrifikace
S	substrát
SOK	sušina odvodněného kalu
SSF	specifická spotřeba flokulantu
TOC	celkový organický uhlík
TSK	teoretická spotřeba kyslíku
X	inokulum

PŘÍLOHY

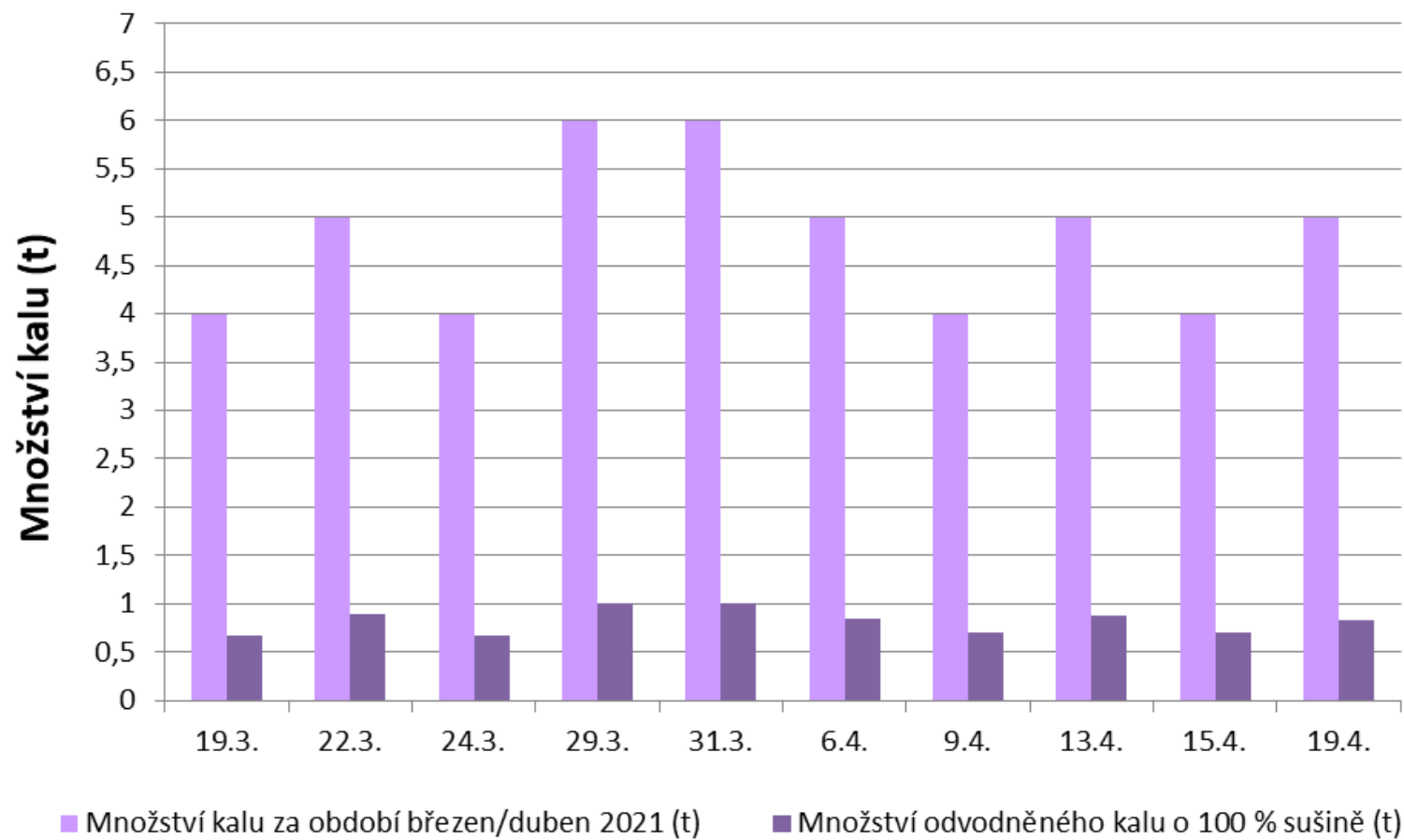


Příloha 1: Grafické znázornění množství odvodněného kalu za rok 2019 mobilní odstředivkou.

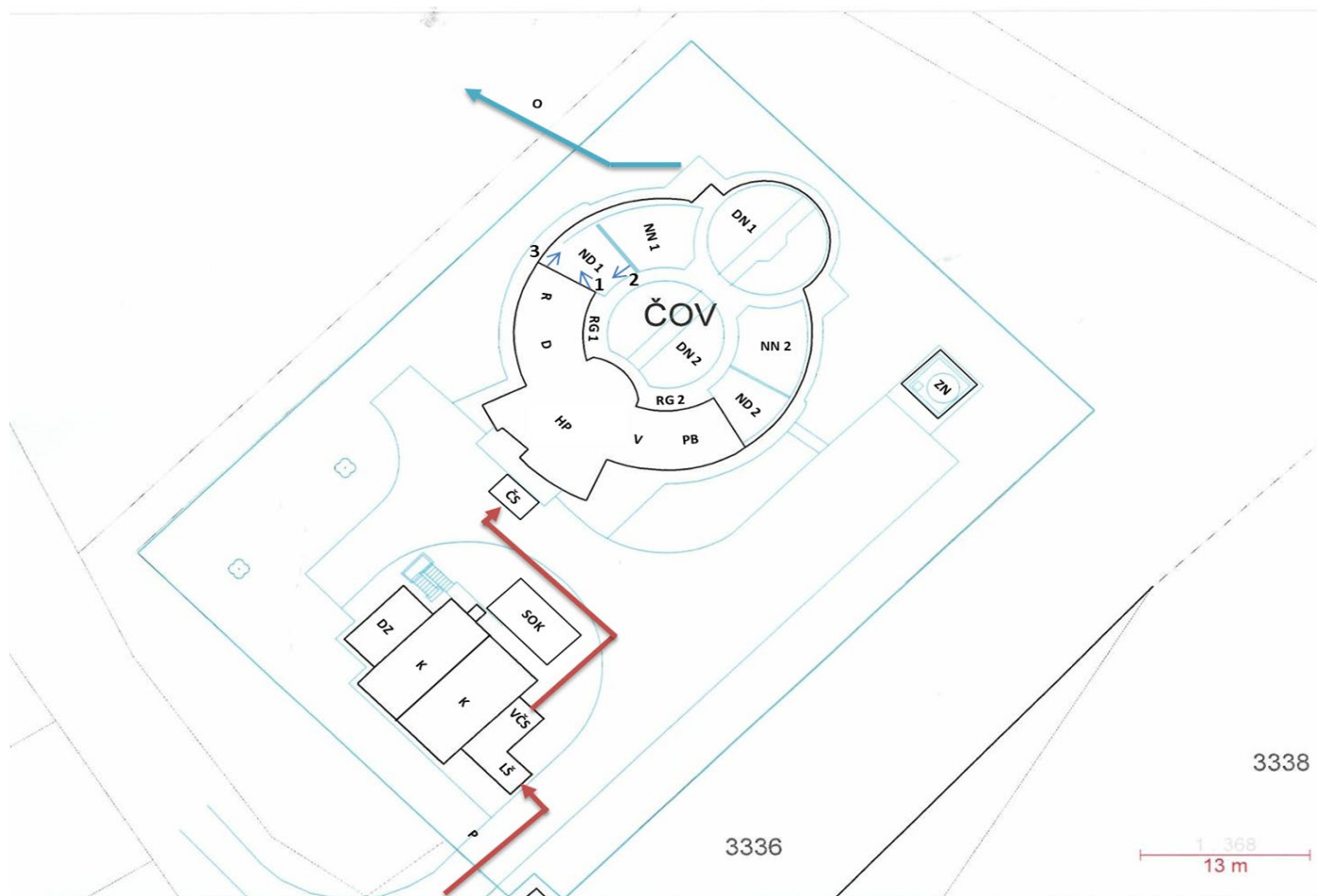


Příloha 2: Grafické znázornění množství odvodněného kalu za rok 2020 mobilní odstředivkou.

Množství odvodněného kalu šnekolisem.



Příloha 3: Množství odvodněného kalu šnekolisem.



Příloha 4: Situační plán ČOV.

P - přítok OV na ČOV, **LŠ** - lapák šterku, **VČS** - vstupní česle hrubé, **K** - kalojem, **DZ** - dešťová zdrž, **SOK** - strojní odvodnění kalu, **ČS** - čerpací stanice, **HP** - hrubé předčištění zahrnující strojně stírané česle a lapák písku, **V** - velín, **PB** - provozní budova, **D** - dmychárna, **R** - rozvodna, **RG 1, 2** - nádrž regenerace, **ND 1, 2** - nádrž denitrifikace, **NN 1, 2** - nádrž nitrifikace, **DN 1, 2** - dosazovací nádrž, **1** - přítok OV do denitrifikace, **2** - vnitřní recykl, **3** - vnější recykl, **ZN** - zásobní nádrž chloridu železitého k odstranění fosforu



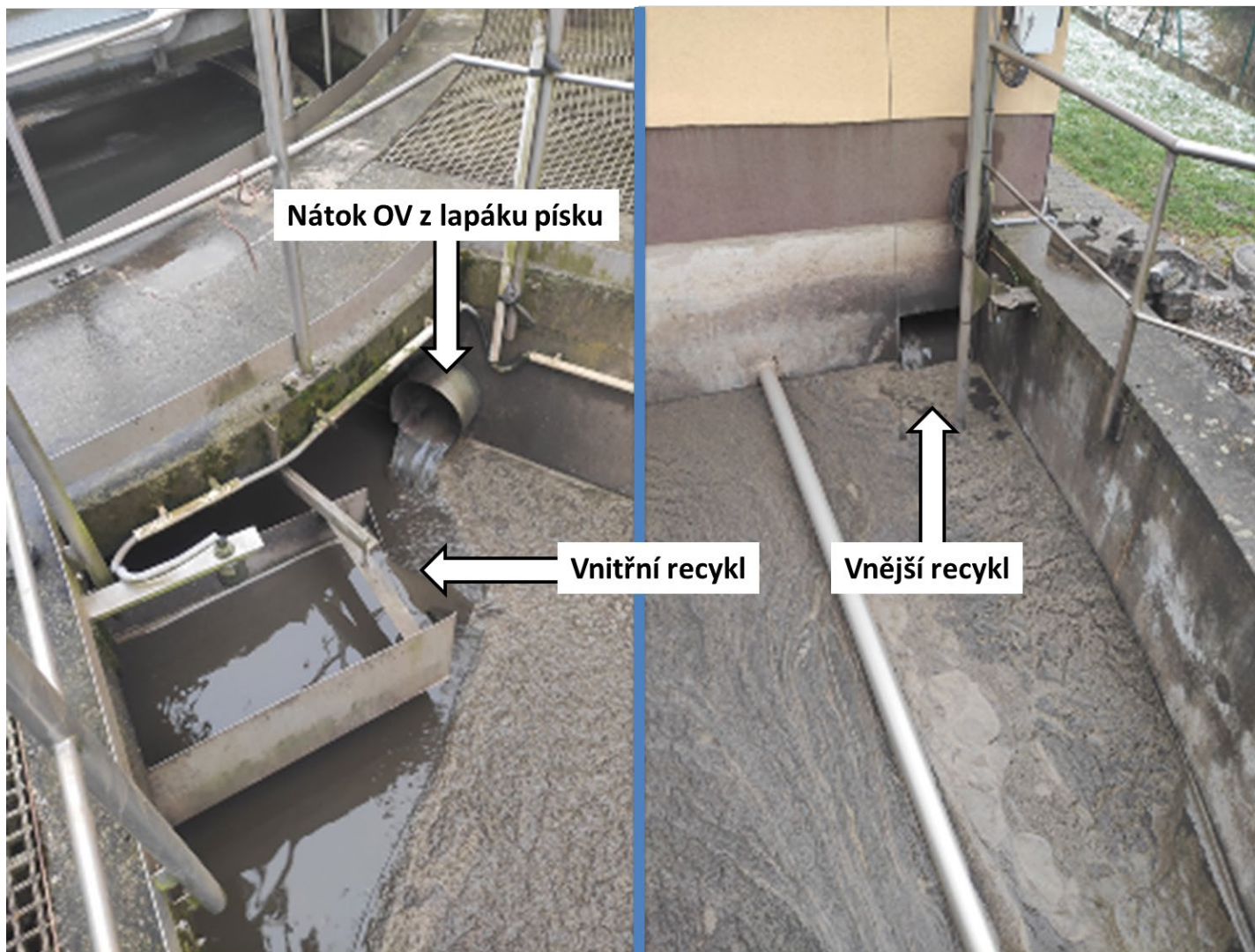
Příloha 5: Nalevo - nátoková jímka s lapákem štěrku, napravo - drapák štěrku.



Příloha 6: Hrubé česle s lisem na shrabky.



Přiloha 7: Jemné česle s lisem na shrabky + lapák písku zabudovaný pod úroveň terénu.



Příloha 8: Denitrifikační nádrž s vyznačenými přítoky do nádrže.



Příloha 9: Nalevo nitrifikační nádrž, napravo dosazovací nádrž.



Příloha 10: Nalevo snímač obsahu kyslíku v nitrifikační nádrži, napravo zásobní nádrž FeCl_3 pro odstranění fosforu.



Příloha 11: Kalojem - uskladňovací nádrž se snímačem hladiny kalu.



Příloha 12: Uskladňovací nádrž s kalovým čerpadlem pro odtah stabilizovaného kalu k odvodnění.



Příloha 13: Původní odvodňovací zařízení - mobilní odstředivka Alfa Laval.



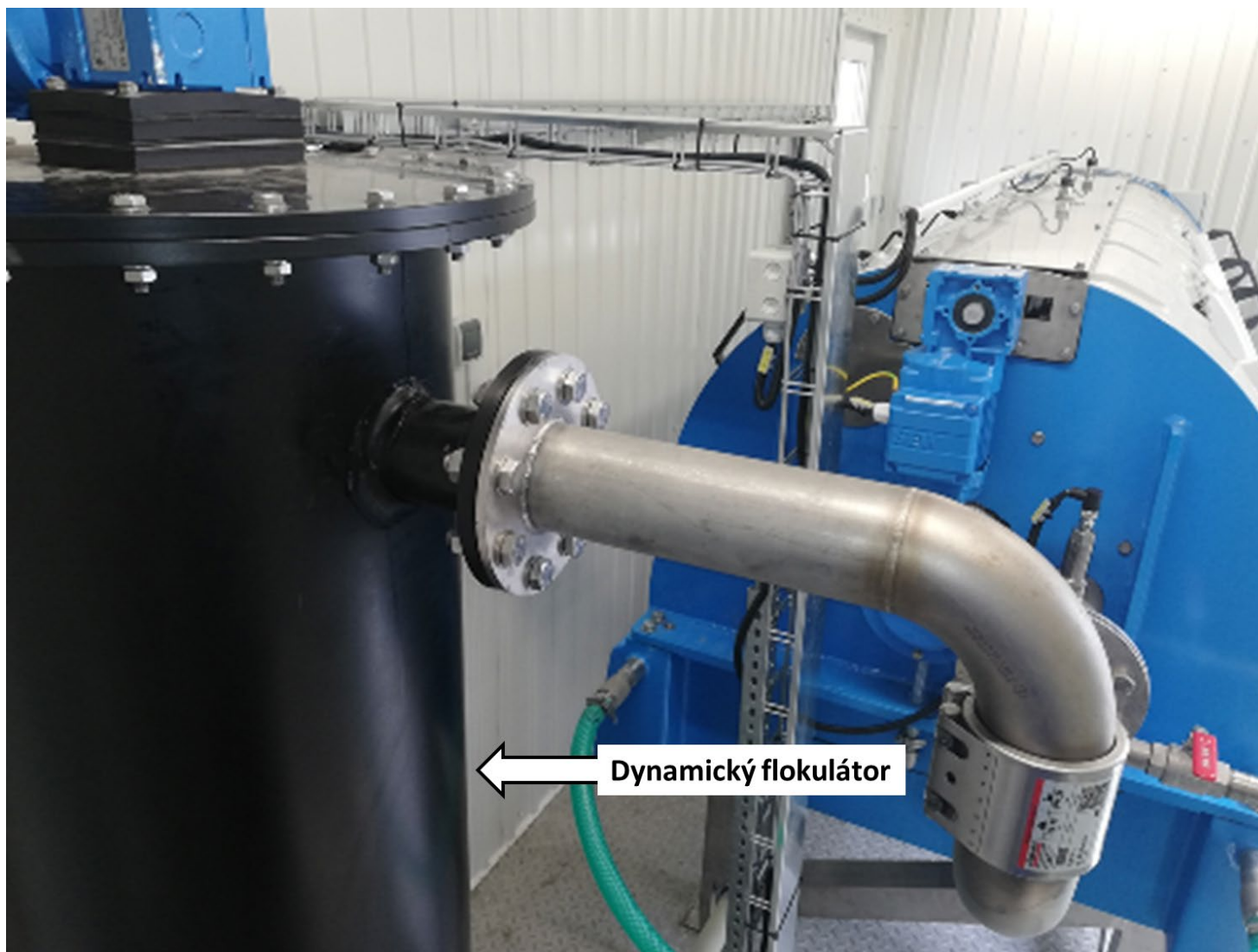
Příloha 14: Mobilní kontejner, ve kterém je umístěna odstředivka Alfa Laval.



Příloha 15: Na spodu je betonová konstrukce, ve které je umístěn emulzní flokulant a nahoře je zateplený kontejner se šnekoliséem.



Příloha 16: Nové zařízení k odvodňování kalů - šnekolis.



Příloha 17: Přívod směsi flokulantu a stabilizovaného kalu do šnekolisu.



Příloha 18: Ovládací panel šnekolisu s detailem obrazovky.